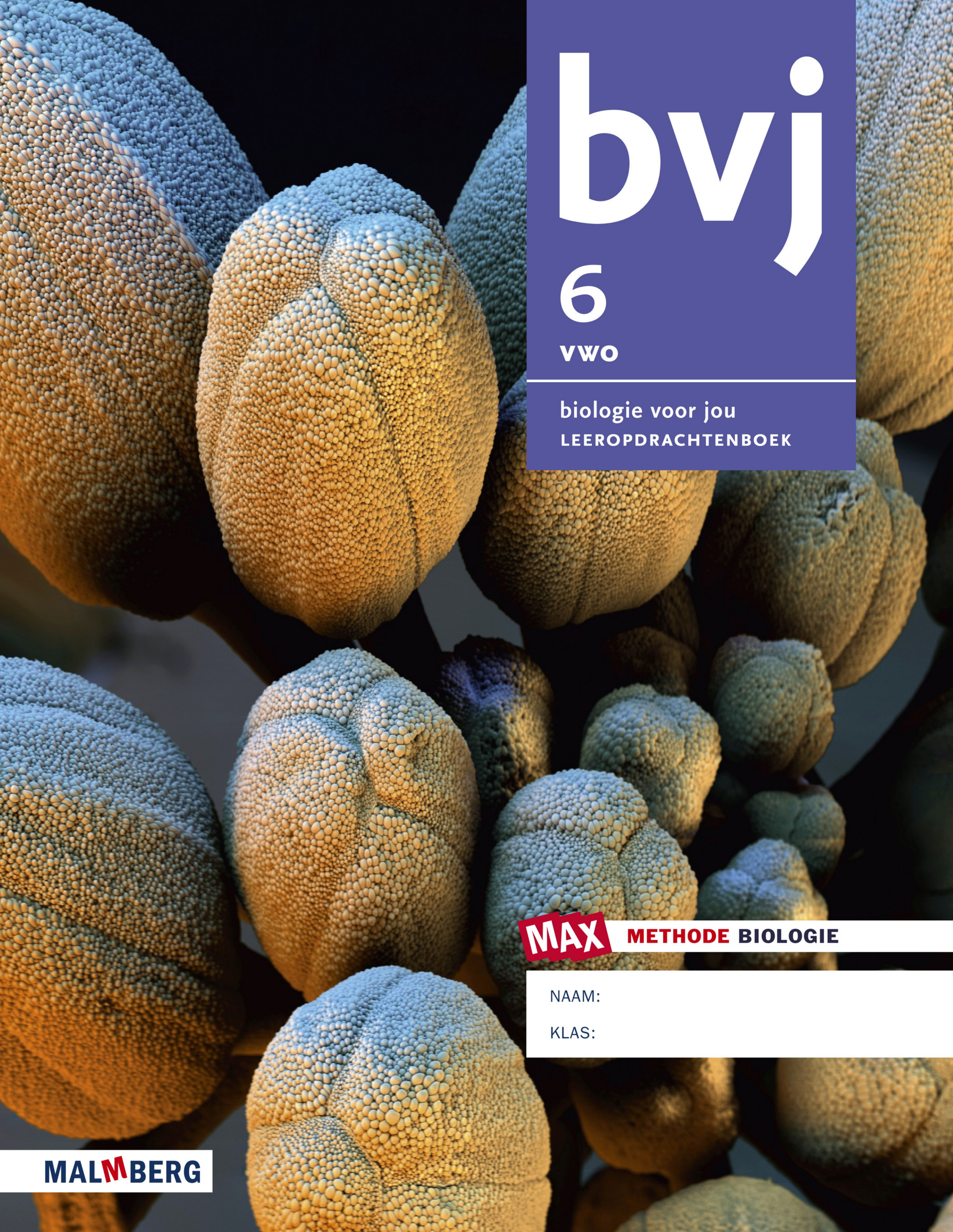




bvj

6

VWO

biologie voor jou
LEEROPDRACHTENBOEK

MAX

METHODE BIOLOGIE

NAAM:

KLAS:

bvj

6

vwo

biologie voor jou
LEEROPDRACHTENBOEK



BIOLOGIE VOOR DE BOVENBOUW
vwo

AUTEURS

MARIANNE GOMMERS
ARTHUR JANSEN
ANDRÉ VAN LEIJEN
RUUD PASSIER
HANS RAWEE
THEO DE ROUW

EINDREDACTIE

ILSE GMELIG
LINEKE PIJNAPPELS

MET MEDEWERKING VAN

PAULA VAN KRANENBURG
CEES MULDER
RENÉ WESTRA

ZESDE EDITIE
MALMBERG 'S-HERTOGENBOSCH
WWW.BIOLOGIEVOORJOU.NL

Voorwoord

Dit boek maakt deel uit van de methode *Biologie voor jou* voor de bovenbouw van het vwo. Met deze methode kun je zelfstandig werken. Hierdoor kun je (met aanwijzingen van je docent) oefenen op je eigen niveau, en je goed voorbereiden op proefwerken en examens.

We gebruiken in deze methode ‘docent’, ‘leerling’ en ‘bioloog’ voor beide geslachten.

WERKEN MET BIOLOGIE VOOR JOU

Biologie voor jou bestaat uit leeropdrachtenboeken, uitwerkingenboeken en een digitale leeromgeving. Je kunt alle onderdelen uit het boek ook daarin doen. Voor sommige onderdelen biedt de digitale leeromgeving extra mogelijkheden of gemak.

Biologie voor jou is opgedeeld in thema's. In een thema wordt de leerstof van een bepaald onderwerp uit de biologie behandeld. Alle thema's in de delen 4, 5 en 6 vwo samen vormen de gehele leerstof voor het biologie-examen vwo. De thema's bestaan steeds uit dezelfde onderdelen. Deze staan hierna beschreven.

ONTDEKKEN

In deze context kun je de leerstof ontdekken door samen met je klasgenoten een maatschappelijke vraag of probleem op te lossen. Zo ontdek je welke rol biologie speelt in het dagelijks leven. De leerstof die bij ‘Ontdekken’ hoort, wordt behandeld in een of twee basisstoffen. Je docent zegt of en wanneer je met ‘Ontdekken’ aan de slag gaat.

BASISSTOF

In de basisstoffen staat in tekst en beeld alle leerstof die je moet kennen. Ook staan er opdrachten tussen de tekst en aan het einde van een basisstof. Met behulp van het uitwerkingenboek kun je deze opdrachten zelf nakijken. Je kunt de opdrachten ook maken in de digitale leeromgeving. Bij moeilijke opgaven krijg je extra feedback en de gesloten opgaven worden automatisch nagekeken. Je ziet dan meteen het goede antwoord.

SAMENHANG

Met de context in de ‘Samenhang’ leer je nog beter verbanden te leggen tussen de leerstof uit de basisstoffen. Je leert om de verschillende organisatieniveaus in de biologie met elkaar te verbinden, van klein naar groot en andersom.

PRACTICA EN BIOLOGISCHE TECHNIEKEN

De practica staan overzichtelijk bij elkaar in een aparte paragraaf. Bij elk practicum is aangegeven bij welke basisstof het practicum hoort. Veelgebruikte biologische technieken staan in aparte kaders zodat je deze gemakkelijk kunt opzoeken.

SAMENVATTING

In de ‘Samenvatting’ staat precies omschreven wat je moet ‘kennen en kunnen’ voor een proefwerk of toets. De samenvatting is opgedeeld in leerdoelen. Deze leerdoelen kun je ook terugvinden in de basisstoffen. Hierdoor kun je altijd opzoeken welke leerstof bij de samenvatting hoort.

Wil je alle begrippen van het thema nog eens oefenen, dan kun je in de digitale leeromgeving gebruikmaken van de ‘Flitskaarten’.

OEFENTOETS

Met de opdrachten in de ‘Oefentoets’ (diagnostische toets) kun je nagaan of je de basisstof voldoende beheerst voor je proefwerk of toets.

De oefentoets kun je in de digitale leeromgeving maken. In de digitale leeromgeving worden de gesloten opdrachten automatisch nagekeken. Ook krijg je een herkansing als je een opgave fout maakt. Zo kun je de oefentoets maken op je eigen niveau.

EXAMENTRAINER

Je kunt elk thema afsluiten met de ‘Examentrainer’. De examentrainer helpt je niet alleen bij de voorbereiding op het examen, maar brengt ook verband aan tussen de verschillende thema’s. Zo leer je de samenhang tussen begrippen en processen beter te zien.

VERRIJKINGSSTOF

De verrijkingsstoffen staan online en bevatten extra stof bij het thema. Met de verrijkingsstoffen kun je extra kennis of vaardigheden opdoen, of oefenen op een meer uitdagend niveau.

CONTEXTEN

In dit boek staan veel contexten. Contexten verbinden de leerstof. Ook kun je met contexten ontdekken welke rol biologie speelt in het dagelijks leven, in beroepen en in de wetenschap. Bij contexten staan opdrachten die je helpen om de leerstof toe te passen in een nieuwe omgeving. Dit is een goede voorbereiding op het examen.

Sommige contexten staan in een opvallend oranje kader. Maar je zult ook zien dat veel opdrachten kleine contexten bevatten. In de contexten staat nooit nieuwe leerstof die je moet kennen voor het examen. Je hoeft contexten dus niet uit je hoofd te leren.

We wensen je veel plezier bij het werken met dit deel van *Biologie voor jou* en veel succes bij de voorbereiding op je examen.

De auteurs

Inhoud

THEMA 1

Vertering

ONTDEKKEN	
Een gouden GREEP?	8
BASISSTOF	
1 Voedingsstoffen	10
2 Het verteringsstelsel	19
3 Chemische vertering	26
4 Resorptie	34
5 Gezonde voeding	40
SAMENHANG	
Eten en gegeten worden	48
PRACTICA	50
SAMENVATTING	54
EXAMENTRAINER	58

THEMA 2

Transport

ONTDEKKEN	
In koelen bloede?	62
BASISSTOF	
1 Transportsystemen	64
2 Het hart	71
3 Het bloedvatenstelsel	79
4 Het bloed	90
5 Weefselvloeistof en lymfe	97
SAMENHANG	
Blozen maakt aantrekkelijk	102
PRACTICA	104
SAMENVATTING	106
EXAMENTRAINER	110

THEMA 3

Gaswisseling en uitscheiding

ONTDEKKEN	
Eerste hulp bij festivals	114
BASISSTOF	
1 Gaswisseling	116
2 Longventilatie	128
3 De lever	137
4 De nieren	144
5 De huid	153
SAMENHANG	
De koningsziekte	158
PRACTICA	160
SAMENVATTING	164
EXAMENTRAINER	168

THEMA 4

Afweer

ONTDEKKEN	
Besmettingsgevaar in de crèche?	172
BASISSTOF	
1 Bescherming	174
2 Afweer	179
3 Immuniteit	192
4 Transplantatie en bloedtransfusie	199
SAMENHANG	
Poep, het meest veelzijdige medicijn	208
PRACTICA	210
SAMENVATTING	212
EXAMENTRAINER	216

THEMA 5

Samenhang van de biologie

1	Cellen, de basis van het leven	220
2	DNA en erfelijkheid	222
3	Organismen	224
4	De aarde als levend systeem	228

REGISTER	232
-----------------	-----

COLOFON	235
----------------	-----

1

Vertering

Heterotrofe organismen nemen voedsel op om in leven te blijven. In het darmkanaal wordt het voedsel verteerd met behulp van enzymen. De verteringsproducten worden opgenomen in het bloed en afgegeven aan de cellen voor de dissimilatie en de voortgezette assimilatie. Onverteerde voedselresten verlaten het lichaam met de ontlasting.

ONTDEKKEN

Een gouden GREEP?	8
-------------------	---

BASISSTOF

1 Voedingsstoffen	10
2 Het verteringsstelsel	19
3 Chemische vertering	26
4 Resorptie	34
5 Gezonde voeding	40

SAMENHANG

Eten en gegeten worden	48
------------------------	----

PRACTICA	50
----------	----

SAMENVATTING	54
--------------	----

EXAMENTRAINER	58
---------------	----







Een gouden GREEP?

►► BASISSTOF 1

In Nederland moet reclame aan een aantal regels voldoen. Deze regels staan in de Nederlandse Reclame Code (NRC). Een van de regels is dat een reclame niet misleidend mag zijn. In een misleidende reclame zegt een adverteerder dingen die niet waar zijn.

Een plaatje op de voorkant van de verpakking geeft de indruk dat een voedingsmiddel boordevol gezonde ingrediënten zit. Maar uit de kleine lettertjes op de achterkant blijkt het vooral te bestaan uit suiker en vet. Of een product is volgens de reclame gemaakt naar een 'authentiek' recept, maar bevat een lange lijst kunstmatige toevoegingen. Om nog maar niet te spreken van claims als 'weerstandverhogende' yoghurt en zogenaamd 'natuurlijke' producten die allerlei synthetische E-nummers bevatten.

Volgens de Warenwet is het misleidend als er eigenschappen aan een product worden toegeschreven die het niet bezit. Organisaties als de Consumentenbond en Foodwatch verzetten zich tegen misleidende verpakkingen en reclames voor voedingsmiddelen.

‘Uit de hand gelopen marketing die consumenten op het verkeerde been zet.’

De Consumentenbond noemt de loze voedingsclaims 'uit de hand gelopen marketing die consumenten op het verkeerde been zet'. In de afgelopen jaren zijn op die manier heel wat marketingtrucs onthuld. Voedselabrikanten passen ze op grote schaal toe om producten te verkopen die in werkelijkheid helemaal niet zo gezond zijn als de reclame je wil laten geloven.

opdrachten

Onderzoekers van het voedingsinformatiebureau HAP komen op voor het recht op eerlijk, veilig en gezond voedsel. HAP wil dat voedselabrikanten de consument eerlijk voorlichten over de inhoud en de herkomst van hun producten. Een van de producten waarin HAP zich verdiept, is de GREEP.

Neem een GREEP!

GREEP (een samentrekking van graan en reep) is een nieuwe snack, gemaakt van de beste granen. Hij zit boordevol vezels, eiwitten en vitaminen. Eén GREEP van 75 gram stilt de stevige trek, als verantwoord tussendoortje of als gezond ontbijt. Handig voor in de rugzak mee naar school, in de lunchtrommel, op de sportschool of tijdens een stevige wandeling. GREEP is samengesteld volgens de laatste inzichten uit de voedings-technologie en bestaat uit 100% natuurlijke ingrediënten. GREEP is dus goed voor het milieu en goed voor het lichaam!

Als onderzoeker van HAP neem je samen met twee collega's de reclame van GREEP onder de loep. Jullie zijn benieuwd of de reep wel zo gezond is als de reclame zegt.

- 1 Analyseer de advertentie en noteer alle voedingsclaims. Zet bij elke claim welke vraagtekens je erbij kunt zetten (wat is onduidelijk of mogelijk misleidend?).
- 2 Op de ingrediëntenlijst van een verpakt voedingsmiddel staat het ingrediënt dat er het meest in voorkomt als eerste vermeld. Daarna het ingrediënt dat er dan het meest in voorkomt, enzovoort. Op de verpakking van de GREEP staan de ingrediënten en de voedingswaardetabel van afbeelding 1. Analyseer deze gegevens nauwkeurig.
 - Deel de ingrediënten in naar het type voedingsstof.
 - Mis je voedingsstoffen op het etiket?
 - Zijn er ingrediënten waarvan je de samenstelling niet kent?
 - Welke voedingsstof zit er vooral in de GREEP?
- 3 In de advertentie van de GREEP worden nogal wat uitspraken gedaan die niet goed onderbouwd zijn. Als onderzoekers van HAP geven jullie aanvullende informatie over de GREEP op jullie website. Daartoe maken jullie een infographic met feitelijke informatie over de ingrediënten en de bouw en functie van de voedingsstoffen in de GREEP. De informatie die je nodig hebt, vind je in basisstof 1.
 - De afbeelding(en) voor jullie infographic kun je zelf maken, maar je mag ook (een) geschikte afbeelding(en) zoeken op internet.
 - Zorg ervoor dat jullie infographic interessant is voor mensen die op zoek zijn naar informatie over eiwitten, essentiële aminozuren, essentiële vetzuren, koolhydraten, onverzadigd vet, verzadigd vet, cholesterol, water, mineralen, vitaminen, voedingsvezels, bouwstof en brandstof.

▼ Afb. 1 Voedingswaardetabel en ingrediënten.

Voedingswaarde	Per 100g	Per reep 75g (%)	Granenreep met hazelnoten. Ingrediënten: Geroosterde volkoren graanvlokken (haver (20%), gerst (4%), tarwe (3%)), glucose-fructosestroop, granencrispies (tarwemeel (8%)), suiker, maïsmeel (1%), rijstmeel (1%), gerstmout , zout, karamelsuikerstroop), glucosestroop, hazelnoten (10%), suiker, cornflakes (maïs (6%)), zout, gerstmoutextract , kokosvet, geroosterde kokosvlokken, honing (1%), zout, karamelsuikerstroop, emulgator (E473), natuurlijk aroma, kleurstof (E150), antioxidant (E306). * Referentie-inname van een gemiddelde volwassene (8400kJ / 2000kcal)
Energie	1824 kJ / 434 kcal	1368 kJ / 327 kcal (16,4%)	
Vet	16 g	12 g (16,7%)	
waarvan verzadigde vetzuren	7,9 g	6,0 g (24%)	
cholesterol	5,3 mg	4,0 mg	
Koolhydraten	64 g	48 g	
waarvan suikers	28 g	21,3 g (24,5%)	
Vezels	5,5 g	4,1 g	
Eiwitten	7,6 g	5,7 g	
Zout	0,6 g	0,45 g (7,1%)	
Water	0,4 g	0,3 g	

Leerdoelen

- Je kunt de kenmerken en functies noemen van zes groepen voedingsstoffen en van voedingsvezel.

1 Voedingsstoffen

Om alle stofwisselingsprocessen in je lichaam goed te laten verlopen, heb je ongeveer vijftig verschillende voedingsstoffen nodig. Die krijg je bijna allemaal binnen door gevarieerd te eten en te drinken.

VOEDING

Eten en drinken is voor jou, als heterotroof organisme, noodzakelijk om in leven te blijven. Zo krijg je de stoffen binnen die nodig zijn voor de stofwisselingsprocessen in je lichaam. Alles wat je eet of drinkt, noem je **voedingsmiddelen**.

Voedingsmiddelen bevatten **voedingsstoffen**. Er zijn zes groepen voedingsstoffen: eiwitten, koolhydraten, vetten, water, mineralen en vitaminen. Daarnaast bevat je voedsel voedingsvezels. Al deze stoffen vervullen verschillende functies in je lichaam. Sommige voedingsstoffen worden gebruikt als **bouwstof** voor de vorming van organische moleculen bij de voortgezette assimilatie. Deze moleculen zijn nodig voor de vorming van (delen van) cellen en weefsels. Vooral voor groei en ontwikkeling van het lichaam en voor vervanging van afgestorven cellen zijn bouwstoffen nodig. **Brandstoffen** zijn voedingsstoffen die energie kunnen leveren voor de dissimilatie (verbranding). De energie die daarbij vrijkomt, is nodig om te bewegen, om de lichaamstemperatuur op peil te houden en voor groei, ontwikkeling en herstel.

Je hebt voedingsstoffen van alle zes groepen nodig om gezond te blijven. Een tekort aan voedingsstoffen kan ziekte veroorzaken.

EIWITTEN (PROTEÏNEN)

Eiwitten of proteïnen zijn ketens van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren. Er zijn dierlijke en plantaardige eiwitten. Dierlijke eiwitten zitten vooral in vlees, vis, melk, kaas en eieren. Plantaardige eiwitten zitten vooral in brood, graanproducten, peulvruchten, noten en paddenstoelen (zie afbeelding 1). In het verteringstelsel worden eiwitmoleculen uit het voedsel gesplitst in afzonderlijke aminozuurmoleculen, die worden opgenomen in het bloed. Via het bloed worden de aminozuren naar de lever vervoerd en vandaaruit naar alle organen van het lichaam. Bij de eiwitsynthese worden de aminozuren in de cellen weer aan elkaar gekoppeld tot eiwitmoleculen.

In eiwitten van mensen komen twintig verschillende aminozuren voor. Twaalf daarvan kunnen volwassenen zelf maken als ze niet voldoende in het voedsel voorkomen. Ze worden dan in de lever gevormd uit andere aminozuren door overplaatsing van een aminogroep ($-NH_2$). Dit proces heet transaminering. De andere acht aminozuren kunnen mensen niet of in onvoldoende hoeveelheden zelf vormen. Daarom moeten deze **essentiële aminozuren** in het voedsel voorkomen.

Eiwitten zijn belangrijke bouwstoffen van cellen en weefsels. Ze maken bijvoorbeeld deel uit van tussencelstof, zoals de collageenvezels in beenweefsel en kraakbeenweefsel. Ook reguleren eiwitten bijna alle processen in een organisme. Ze zijn betrokken bij het transport van stoffen, bij de celcommunicatie (het overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere) en bij chemische reacties. Ook spelen ze een rol bij de bloedstolling en bij immuniteit.

▼ **Afb. 1** Voedingsmiddelen die veel eiwitten bevatten.



▼ **Afb. 2** Voedingsmiddelen die veel koolhydraten bevatten.



Je lichaam kan eiwitten ook gebruiken als brandstof. Eiwitten worden dan eerst omgezet in glucose, dat vervolgens wordt verbrand. Wanneer er niet voldoende glucose beschikbaar is, verbrand je de eiwitten uit je spieren. Hierdoor neemt je spiermassa af. Ook een overschot aan eiwitten en aminozuren in je voeding wordt in je lichaam omgezet in glucose. Bij de dissimilatie van eiwitten ontstaat ammoniak, dat in de lever wordt omgezet in ureum. Ureum wordt uitgescheiden met de urine. Er ontstaan ook stoffen die deel uitmaken van de glycolyse, bijvoorbeeld pyrodruivenzuur dat na verdere dissimilatie energie levert.

KOOLHYDRATEN (SACHARIDEN)

In afbeelding 2 zie je voedingsmiddelen die veel **koolhydraten** (sachariden) bevatten. Zoete vruchten, jam, stroop en honing bevatten veel glucose, fructose (beide monosachariden) en sacharose (een disacharide). Brood, aardappelen, rijst en macaroni bevatten veel zetmeel (een polysacharide). Melk bevat lactose (een disacharide). Dierlijk voedsel bevat relatief weinig koolhydraten.

Koolhydraten zijn belangrijke brandstoffen in je lichaam. Als 1 g koolhydraten wordt verbrand, komt 17 kJ energie vrij. Door koolhydraten te eten, kun je in het grootste deel van je energiebehoefte voorzien. Als je te veel koolhydraten eet, zorgt het hormoon insuline ervoor dat een klein deel daarvan wordt omgezet in de polysacharide glycogeen, die als reservestof wordt opgeslagen in de lever en in spieren. Het grootste deel van de overtollige koolhydraten wordt omgezet in vet en opgeslagen onder de huid (in het onderhuidse bindweefsel) of rondom organen (vooral spieren, hart en nieren).

Koolhydraten kunnen ook dienen als bouwstoffen. Een DNA-molecuul bevat bijvoorbeeld de monosacharide desoxyribose en ATP bevat de monosacharide ribose. In celmembranen spelen koolhydraatketens een rol bij de herkenning van de cel door andere cellen.

Voedingsvezels zijn koolhydraten die niet kunnen worden verteerd door enzymen van de mens. Voorbeelden zijn cellulose en pectine. Een deel van de voedingsvezels kan in de darmen wel worden afgebroken door de enzymen van bacteriën. Voedingsvezels zijn afkomstig uit de celwanden van plantaardige voedingsmiddelen. Ze bevorderen de darmwerking en de stoelgang. Ook zorgen voedingsvezels eerder voor een verzadigd gevoel, waardoor je niet zo snel te veel eet. Hierdoor behoud je gemakkelijker een gezond gewicht.

▼ **Afb. 3** Voedingsmiddelen die veel vetten bevatten.

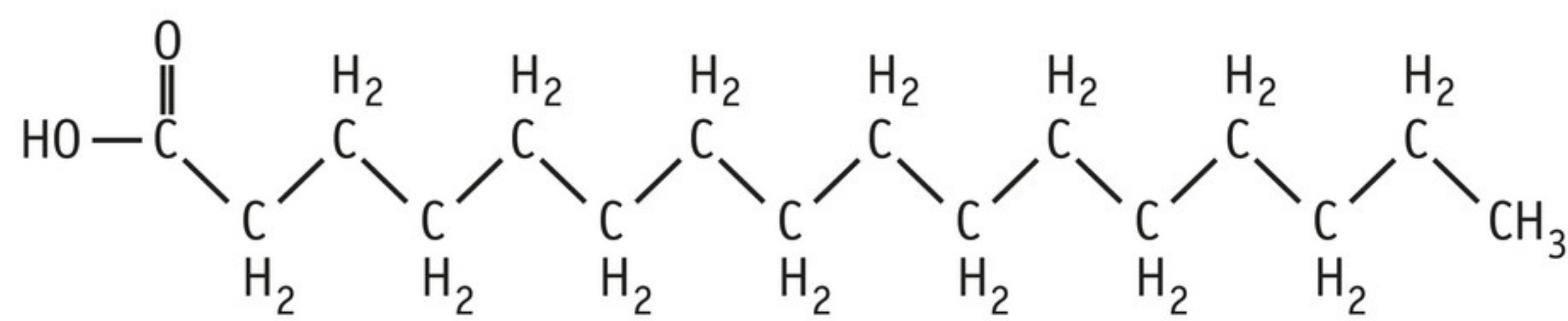


VETTEN (LIPIDEN)

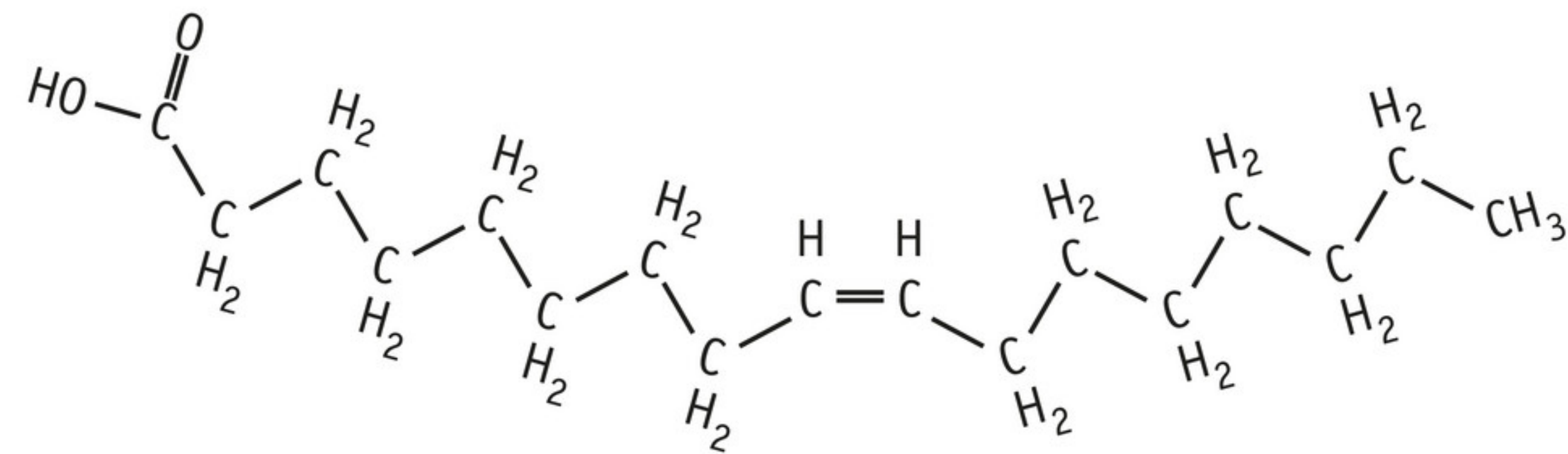
Voedingsmiddelen als halvarine, zonnebloemolie, vlees, vis, kaas, noten, koek, snacks en sauzen bevatten **vetten** of lipiden (zie afbeelding 3). Veel vetmoleculen zijn opgebouwd uit een glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen. Deze vetten en oliën worden **triglyceriden** genoemd. De vetzuren kunnen **verzadigd** of **onverzadigd** zijn (zie afbeelding 4). Bij een verzadigd vetzuur zijn alle bindingsplaatsen van de C-atomen bezet door waterstofatomen. Bij een onverzadigd vetzuur is dat niet het geval. Tussen C-atomen die niet bezet zijn door waterstofatomen, wordt een dubbele binding gemaakt. Vooral plantaardige oliën (bijvoorbeeld olijf- en zonnebloemolie) en vis bevatten veel onverzadigde vetzuren. Dierlijke vetten bevatten veel verzadigde vetzuren.

Je lichaam kan glycerol en de meeste vetzuren vormen uit andere organische stoffen. Daardoor hoeft je voedsel maar weinig vetten te bevatten. Alleen enkele onverzadigde vetzuren moeten in het voedsel voorkomen. Een voorbeeld van deze **essentiële vetzuren** is linolzuur.

▼ Afb. 4 Vetzuurmoleculen.



1 structuurformule van een verzadigd vetzuur (palmitinezuur)



2 structuurformule van een (enkelvoudig) onverzadigd vetzuur (oliezuur)

Vetten dienen vooral als brandstoffen. Bij de verbranding van 1 g vet komt 38 kJ energie vrij. Als je te veel vetten eet, sla je ze als reserve-energiebron op onder de huid en rondom je organen. Het vet onder de huid heeft een warmte-isolerende functie.

Vetten dienen ook als bouwstoffen. Fosfolipiden (vetachtige stoffen) vormen een belangrijk bestanddeel van membranen. Bij fosfolipiden is een vetzuur vervangen door een fosforzuur. Sommige vitaminen (A, D, E en K) zijn oplosbaar in vet, waardoor je ze alleen via vet binnenkrijgt. **Cholesterol** is een vet dat je voor een klein deel binnenkrijgt via je voeding. De meeste cholesterol wordt aangemaakt door de lever. Cholesterol komt voor in celmembranen en wordt gebruikt bij de productie van hormonen, gal en vitamine D.

opdrachten

- 1 Ongeveer 50% van het drooggewicht van een cel van een mens bestaat uit eiwitten. Verschillende typen eiwitten vervullen uiteenlopende functies. Maak een overzicht door de tabel verder in te vullen. Kies bij de voorbeelden uit: *actine – aquaporine – ATP’ase – collageenvezels – DNA-polymerase – fibrinogeen – globulinen – GnRH – myosine – natrium-kaliumpomp – receptoreiwit voor acetylcholine op de spiervezels – testosteron.*

Functie eiwit	Type eiwit	Voorbeeld
Bestanddeel van tussencelstof		
Bloedstolling		
Immunititeit		
Katalyseren van chemische omzettingen		
Mogelijk maken van beweging van spieren		
Op gang brengen van cellulaire respons wanneer een signaalmolecuul bindt		
Overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere (celcommunicatie)		
Vervoeren van stoffen door membranen of in het bloed		

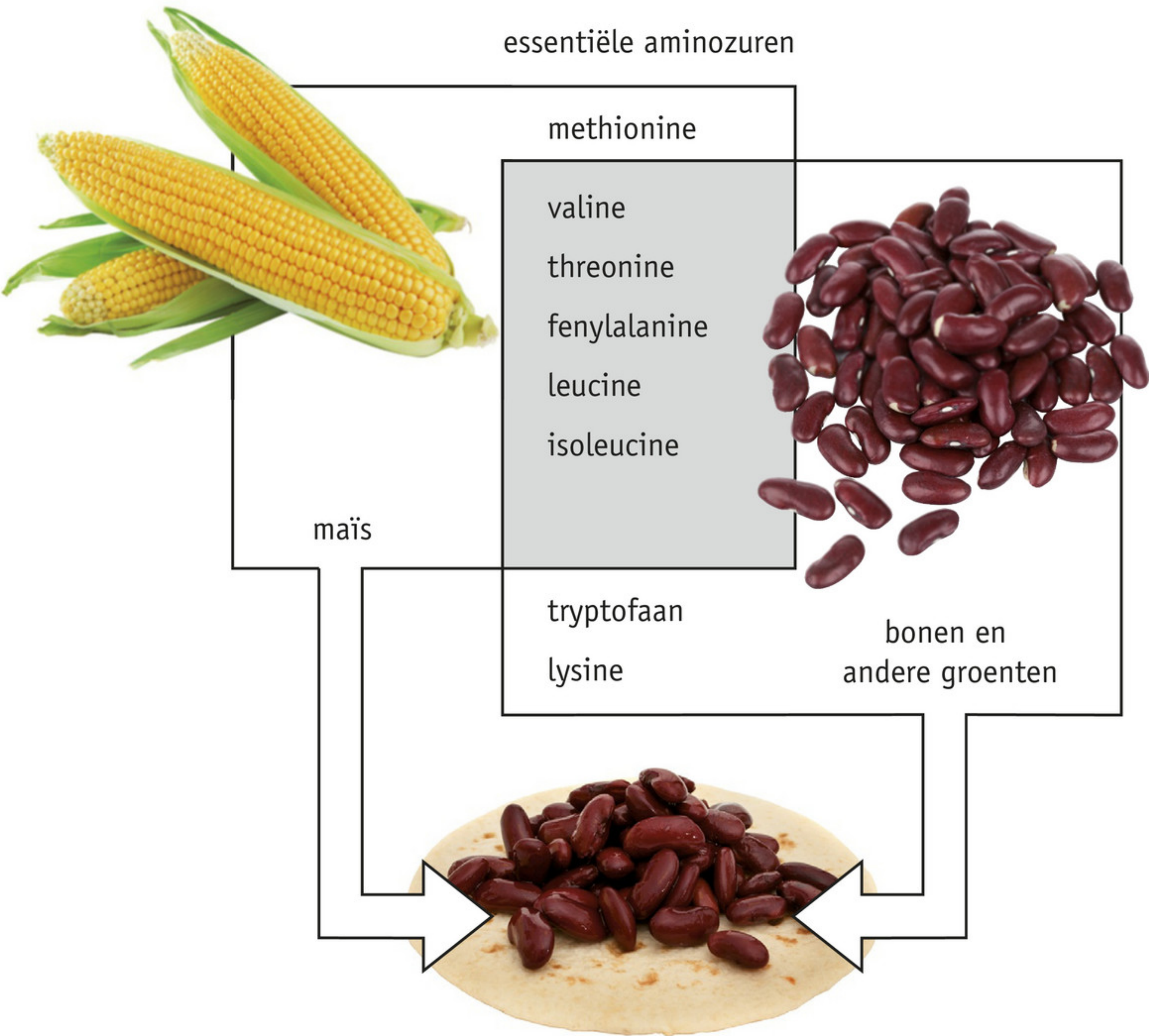
- 2
- In je lichaam worden eiwitten opgebouwd uit aminozuren.
- a

Welke organellen zijn betrokken bij de synthese van eiwitmoleculen?
- b

Vlees en dierlijke producten zoals eieren, melk en kaas leveren alle essentiële aminozuren. Maar een groot deel van de wereldbevolking is noodgedwongen vegetariër doordat ze geen vlees kunnen betalen. Leg met behulp van afbeelding 5 uit dat het voor arme mensen in Zuid-Amerikaanse landen van belang is om ten minste een combinatie van maïs en bonen te eten.
- c

Waardoor kan een vegetariër in Zuid-Amerika ziek worden als hij alleen maar bonen eet en geen maïs?

Afb. 5 Een vegetarisch dieet.



- 3
- Ralph eet veel vlees en vleeswaren. Hierdoor krijgt hij met zijn voedsel veel meer eiwitten binnen dan hij nodig heeft.
- a

Heeft Ralph dezelfde hoeveelheid koolhydraten nodig als iemand die geen overmaat aan eiwitten met zijn voedsel binnenkrijgt? Leg je antwoord uit.
- b

Als je te veel eiwitten met je voedsel binnenkrijgt, wordt het overschot niet opgeslagen in je lichaam maar verbrand. Toch kun je van te veel eiwitten in je voedsel dik worden. Leg dat uit.

Afb. 6 Samenstelling van banaan en avocado.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Koolhydraten	Suikers	Vet	Verzadigd vet	Enkelvoudig onverzadigd vet	Meervoudig onverzadigd vet	Cholesterol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Banaan	86	363	76,8	1,2	18,8	18,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	2,0
Avocado	188	790	70,4	2,6	1,5	1,4	18,1	3,8	11,3	2,0	0,0	6,4

▼ **Afb. 7** Samenstelling van bloedplasma en van melk van een zogend schaap.

Bestand- delen	In bloed- plasma (in gram per 100 g)	In melk (in gram per 100 g)
Eiwitten	7,0	1,3
Glucose	0,1	0
Lactose	0	7,1
Vetten	0,7–1,0	4,1
Water	91,0	87,0

► **Afb. 8** Voedingsmiddelen die veel water bevatten.

- 4

Rachel kan kiezen tussen een banaan en een avocado als tussendoortje. Een avocado levert bijna 2× zoveel energie als een banaan. Leg met behulp van afbeelding 6 uit waardoor een avocado veel meer energie levert dan een banaan.
- 5

Gedurende de zoogperiode is bij een schaap de hoeveelheid bloed die naar de melkklieren stroomt 3× zo groot als in de periode waarin het schaap niet zoogt. Van de glucose die wordt aangevoerd, wordt 60 tot 90% door de cellen van de melkklieren opgenomen. Bij een schaap in de zoogperiode werd met ¹⁴C gemerkte glucose in een ader ingespoten. Iets later werd radioactiviteit in de melk aangetoond. De ¹⁴C die in de melk werd gemeten, bevond zich vooral in twee van de in afbeelding 7 genoemde bestanddelen. Welke twee bestanddelen zijn dat? Leg je antwoord uit.

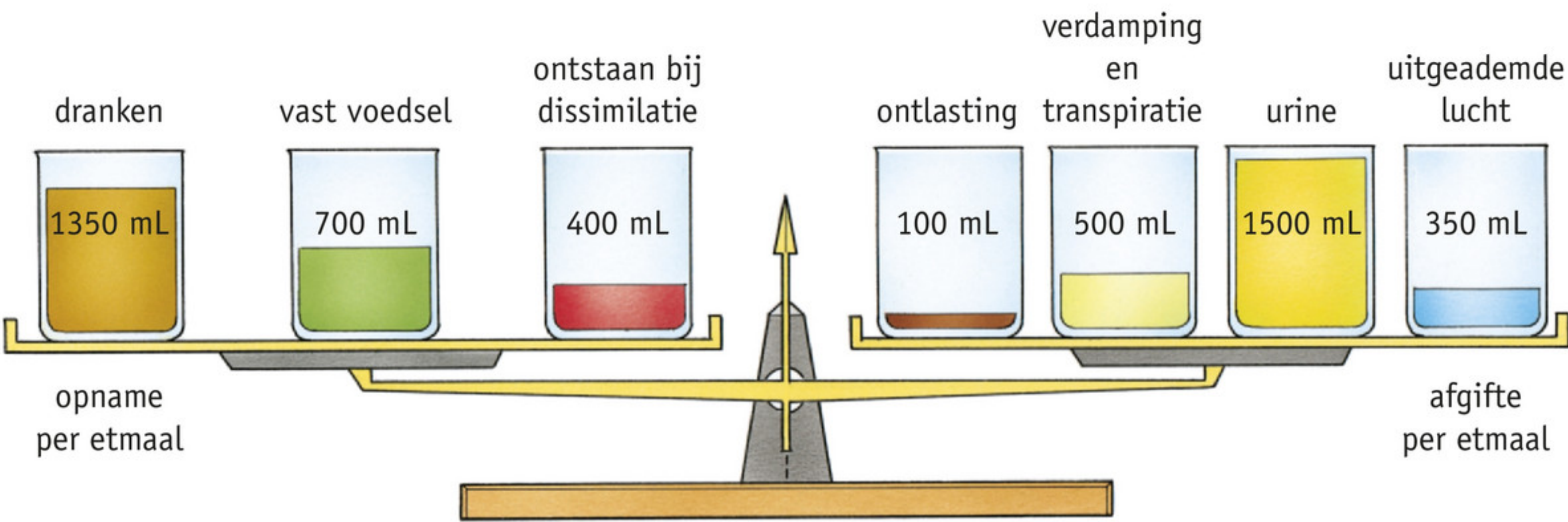
WATER

Alle dranken, maar ook groenten en fruit, zijn voedingsmiddelen die veel water bevatten (zie afbeelding 8). Organismen bestaan voor het grootste deel uit water. Een volwassen menselijk lichaam bevat ongeveer 60% water. Water is onder andere een belangrijke bouwstof voor je lichaamscellen en een oplosmiddel voor allerlei stoffen. Samen met de opgeloste stoffen bepaalt water de osmotische waarde van de vloeistoffen in het lichaam. Water is ook een transportmiddel, bijvoorbeeld in bloed. Verder speelt water een belangrijke rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur. Door verdamping van het water uit zweet koelt het lichaam af.



Ook met uitgeademde lucht, urine en ontlasting raakt het lichaam water kwijt. Dit verlies wordt voor een klein deel aangevuld door het water dat bij dissimilatie ontstaat. De rest wordt aangevuld door eten en drinken (zie afbeelding 9). Als het lichaam plotseling veel water kwijtraakt (bijvoorbeeld bij hevig braken of diarree), kan dit levensbedreigend zijn.

► **Afb. 9** Waterbalans: de gemiddelde waarden per etmaal.



MINERALEN (ZOUTEN)

In afbeelding 10 zie je voedingsmiddelen die veel **mineralen** (zouten) bevatten. Mineralen zijn anorganische stoffen zoals calcium, fosfor, kalium en natrium. Je hebt dagelijks allerlei soorten mineralen nodig om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. In gezonde voeding zitten voldoende mineralen. Van het mineraal natrium krijgen veel mensen zelfs te veel binnen via keukenzout (natriumchloride).

Sommige mineralen worden gebruikt als bouwstoffen. Zo zorgt calcium ervoor dat je botweefsel hard is en geeft het stevigheid aan tandbeen. Ook fosfor geeft stevigheid aan botten en tanden. Mineralen kunnen ook andere functies vervullen. Calcium is bijvoorbeeld nodig om je bloed te laten stollen. Kalium zorgt er samen met natrium voor dat neuronen impulsen kunnen geleiden.

Mineralen die je slechts in zeer kleine hoeveelheden nodig hebt, worden

spoorelementen genoemd. Voorbeelden zijn chroom, fluor, jodium en ijzer.

Fluor versterkt het tandglazuur. Ijzer is nodig voor de vorming van hemoglobine (een zuurstofbindend molecuul in rode bloedcellen). Spoorelementen zijn vaak bestanddelen van enzymen en hormonen. Zo speelt chroom een rol bij de werking van insuline en bevat het schildklierhormoon jodium.

VITAMINEN

De voedingsmiddelen in afbeelding 11 bevatten veel vitaminen. **Vitaminen** zijn organische stoffen die nodig zijn om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. Ze worden aangegeven met een letter. Belangrijke vitaminen zijn A, B, C, D en K. Vitamine B is een verzamelnaam voor verschillende vitaminen: het **vitamine-B-complex**. De afzonderlijke vitaminen worden aangegeven met cijfers, bijvoorbeeld B1 en B6.

Vitamine K kan worden gemaakt door bacteriën in de dikke darm. Alle andere vitaminen kunnen niet in je lichaam worden gevormd en moeten daardoor in je voedsel aanwezig zijn. Sommige vitaminen zijn in je voedsel aanwezig als provitaminen. Uit een provitamine kan je lichaam dan zelf de vitamine vormen. Uit provitamine D bijvoorbeeld kan je lichaam onder invloed van zonlicht vitamine D aanmaken in de huid.

Net als spoorelementen zijn veel vitaminen in je lichaam bestanddelen van enzymen. Ze zijn dus nodig om stofwisselingsreacties goed te laten verlopen. Bij gebrek aan vitaminen ontstaan **gebreksziekten** (zie afbeelding 12 en 13). Ook als je te veel vitaminen binnenkrijgt, kun je ziek worden. Volgens de Gezondheidsraad bevat gevarieerde voeding voldoende vitaminen en provitaminen. Alleen bepaalde risicogroepen, zoals zwangere vrouwen of veganisten, hebben extra vitaminen D, K, B11 (foliumzuur) of B12 nodig.

In afbeelding 13 staan kenmerken van enkele vitaminen. In *Binas* vind je een uitgebreider overzicht.

► PRACTICUMOPDRACHT 1 EN 2

▼ **Afb. 10** Voedingsmiddelen die veel mineralen bevatten.



▼ **Afb. 11** Voedingsmiddelen die veel vitaminen bevatten.



▼ **Afb. 12** O-benen door een tekort aan vitamine D (rachitis).



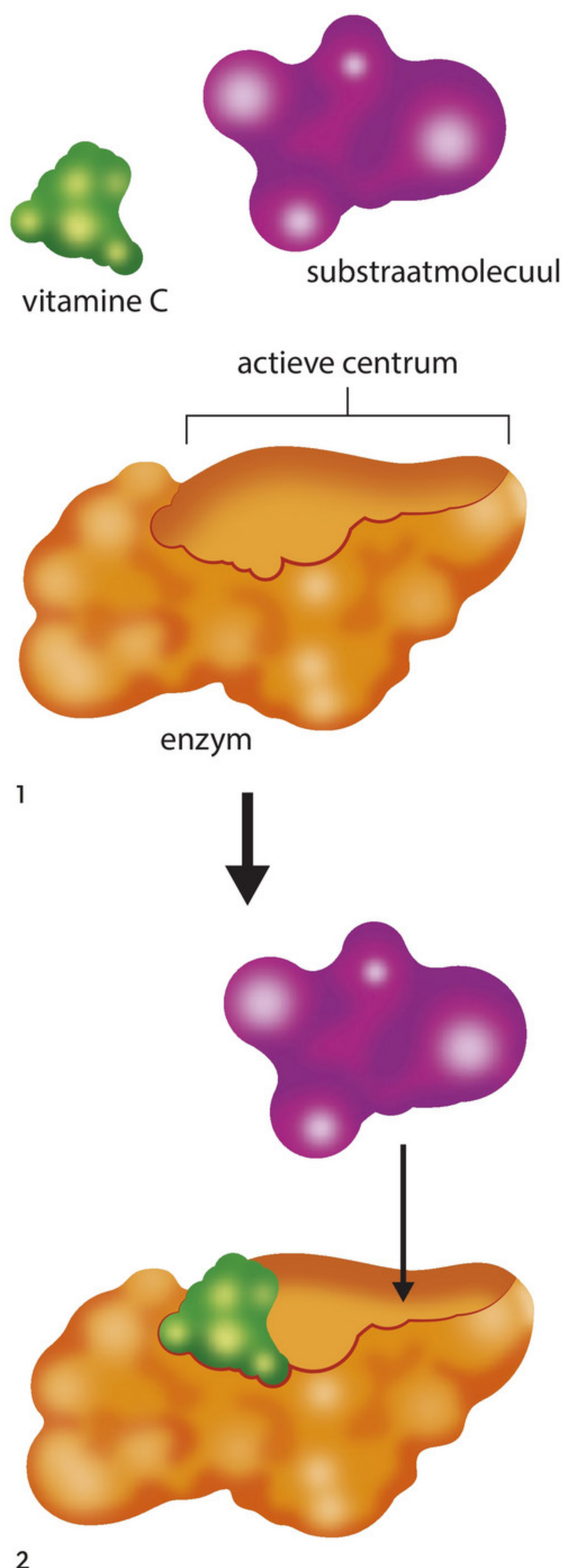
▼ **Afb. 13** Kenmerken van enkele vitaminen.

	Is nodig voor	Komt voor in	Gebreksziekte
A	– de aanmaak van cellen en de weefselstructuur van de huid – de vorming van epitheelcellen in huid, haar, luchtpijp, tandvlees en longweefsel – een goede werking van de staafjes in het netvlies	– melk, boter, margarine, lever, ei, vis – provitamine A zit in tomaten, worteltjes	– slecht zien in de schemering (nachtblindheid) – verhoornen van het hoornvlies (leidt tot blindheid) – schilferen van de huid – verminderde weerstand
B1	een goede werking van het zenuwstelsel en de spieren	vlees, ei, gist, volkorenbrood, peulvruchten, granen, aardappelen	– vermoeidheid – zenuwontstekingen – spierverlammingen (beriberi)
C	– de vorming van bindweefsel en bloedvaten – een goede lichaamsweerstand – de darmen; het bevordert de absorptie van ijzer in de darmen	fruit (vooral citrusvruchten), kool en andere bladgroenten, nieuwe aardappelen	– vermoeidheid – verminderde weerstand – tandvleesbloedingen – inwendige bloedingen (scheurbuik)
D	de resorptie van calcium en het vastleggen van calcium in beenderen en het gebit	– margarine, eidooier, vette vis, paddenstoelen – kan in de huid worden gevormd onder invloed van ultraviolette straling in zonlicht	– ontkalken van beenderen – vergroeiingen (rachitis)
K	een goede bloedstolling	groene bladgroenten, fruit, melk, melkproducten, vlees, eieren, granen	– stoornissen in de bloedstolling (bloedingen)

opdrachten

- 6** Woestijnratten kunnen leven onder extreem droge omstandigheden. Het voornaamste probleem van woestijndieren is waterverlies via de uitgeademde lucht. Woestijnratten hebben speciale neusbeenderen waarop de waterdamp in de uitademingslucht condenseert, waarna het water opnieuw wordt opgenomen in het lichaam. Woestijnratten eten insecten, zaden en ander plantaardig materiaal.
- a** Voldoende water is onmisbaar voor het goed functioneren van een woestijnrat.
Noem vier functies die water in het lichaam van een woestijnrat vervult.
- b** Is de urine van woestijnratten weinig geconcentreerd of sterk geconcentreerd? Leg je antwoord uit.
- c** Woestijnratten hoeven nooit te drinken.
Op welke twee manieren komen zij toch aan voldoende water?
- 7** Waterintoxicatie of watervergiftiging kan ontstaan wanneer iemand te veel water drinkt. In 2016 overleed een toerist in Amsterdam nadat ze een grote hoeveelheid water had gedronken. Ze was onder invloed van softdrugs. Door het drinken van veel water neemt de osmotische waarde van het bloed en van andere vloeistoffen buiten de cel af.
Leg uit welke gevolgen dit heeft voor de lichaamscellen.
- 8** Niet iedereen heeft evenveel mineralen en vitaminen nodig. Ook heb je niet van alle mineralen en vitaminen evenveel nodig.
- a** Vrouwen hebben in de vruchtbare periode van hun leven meer ijzer nodig dan mannen. Leg dit uit.

▼ **Afb. 14** De werking van een enzym bij de vorming van collageen.



- b** Leg uit dat je van mineralen en vitaminen die dienen als cofactor om enzymen goed te laten werken, slechts zeer kleine hoeveelheden nodig hebt in je voeding.
- c** Vitamine C is onmisbaar voor de vorming van collageen. Collageen zorgt voor stevigheid en elasticiteit van bindweefsels in onder andere je huid, botten, bloedvaten en tussen je organen. Bij de productie van collageen worden drie collageenvezels met behulp van verschillende enzymen in elkaar gedraaid als bij een touw voor een stevigere structuur. Afbeelding 14 geeft de werking van een van deze enzymen weer.

Leg uit dat vitamine C nodig is om de chemische reactie in het enzym te laten verlopen.

- d** Een kaliumtekort komt niet vaak voor. Je kunt het onder andere herkennen aan verzwakte spieren.

Leg uit hoe een kaliumtekort leidt tot verzwakte spieren.

- e** Een student die leeft op een dieet van pizza, krijgt na verloop van tijd last van bloedend tandvlees en blauwe plekken die ontstaan door spontane inwendige bloedingen (scheurbuik).

Verklaar deze symptomen.

- 9** Een aantal risicogroepen krijgt niet genoeg vitaminen binnen via eten en drinken of door zonlicht. Voor deze groepen heeft de Gezondheidsraad een advies opgesteld om extra vitaminen te slikken.
- a** Zoek op de site van het Voedingscentrum voor welke risicogroepen dit advies geldt en om welke vitaminen het gaat.
- b** Waarom geven veel ouders hun opgroeiende kinderen in de wintermaanden extra vitamine D?
- c** Bacteriën in de dikke darm kunnen vitamine K aanmaken. Om welk type symbiose gaat het hier? Leg je antwoord uit.
- d** Volwassenen die langdurig antibiotica gebruiken, kunnen een tekort krijgen aan vitamine K met als gevolg dat de bloedstolling langzamer gaat. Leg uit hoe een tekort aan vitamine K kan ontstaan door antibiotica te gebruiken.
- e** Waarom adviseert de Gezondheidsraad om baby's vitamine K toe te dienen?

CONTEXT

Wetenschap

▼ **Afb. 15** Neurowetenschapper Suzana Herculano-Houzel.



Koken voor het brein

De mens is de enige soort op aarde die zijn voedsel kookt, bakt of roostert. Hierdoor is het gemakkelijker te kauwen en te verteren, komen er per portie meer calorieën beschikbaar en doet het voedsel er minder lang over om het darmkanaal te passeren.

Sinds we zo'n 1,5 miljoen jaar geleden zijn gaan koken is het gemiddelde aantal neuronen in de hersenen van de mens sterk toegenomen. Wetenschappers vermoeden dat er door het eten van gekookt voedsel meer energie beschikbaar is gekomen voor de ontwikkeling van onze hersenen. Om deze 'kookhypothese' te kunnen bewijzen, heeft de Braziliaanse neurowetenschapper Suzana Herculano-Houzel onderzocht of het eten van alleen rauw voedsel een beperkende factor is voor de grootte van de hersenen of de lichaamsgrootte van een organisme. Daarvoor bepaalde ze van verschillende soorten primaten het gemiddelde aantal neuronen in de hersenen en het gemiddelde

lichaamsgewicht. Herculano-Houzel gaat ervan uit dat het aantal neuronen in de hersenen samenhangt met de hoeveelheid energie die beschikbaar is. Ze hanteert daarvoor de volgende formule:

energiekosten
neuronen

+

energiekosten
lichaamsgrootte

=

energieopname
uit rauw voedsel

De relatieve energiekosten van hersenen zijn 25 kJ per miljard neuronen per dag. Dat is ongeveer hetzelfde bij alle hersenen. Een primate die acht uur per dag eet, kan zich 53 miljard neuronen veroorloven bij een lichaamsgewicht van 25 kg. Om uit deze metabole beperking te komen, zou deze primate nog meer uren per dag kunnen gaan eten, maar negen uur per dag voeden is voor primaten echt de limiet.

opdracht

- 10 Afbeelding 16 is een overzicht van de resultaten van het onderzoek van Suzana Herculano-Houzel.
- a

Zet de gegevens uit de tweede en derde kolom van afbeelding 16 uit in een grafiek. Geef het geschatte verloop van de ontwikkeling aan door de punten te verbinden met een rechte lijn (trendlijn) waarbij er ongeveer evenveel punten aan beide zijden van de lijn komen te liggen.
- b

Welke conclusie kun je trekken uit de grafiek?
- c

Het gemiddelde aantal neuronen in de hersenen van een gorilla is aanzienlijk lager dan je zou verwachten.
Geef hiervoor een mogelijke verklaring.
- d

Uit de grafiek blijkt dat ook bij mensen het gemiddelde aantal neuronen afwijkt van de verwachting (trendlijn).
Leg uit hoe dit de resultaten van het onderzoek van Herculano-Houzel ondersteunt.

▼ **Afb. 16** Vergelijking van verschillende primaten.

Primatesoort	Lichaamsgewicht (in kg)	Aantal neuronen in de hersenen (in miljarden)	Tijd die nodig is om rauw voedsel te verzamelen en eten (in uren)
Penseelaapje (<i>Callithrix jacchus</i>)	0,37	0,6	2,4
Grijsneknachtaapje (<i>Aotus trivirgatus</i>)	0,78	1,5	3,0
Java-aap (<i>Macaca fascicularis</i>)	4,5	3,4	4,2
Gele baviaan (<i>Papio cynocephalus</i>)	17,8	10,9	5,8
Chimpansee (<i>Pan troglodytes</i>)	44,0	27,5	7,3
Borneose orang-oetan (<i>Pongo pygmaeus</i>)	57,2	32,6	7,8
Mens (<i>Homo sapiens</i>)	70,0	86,0	9,3
Westelijke gorilla (<i>Gorilla gorilla</i>)	124,7	33,4	8,8

Leerdoelen

- Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven en de relatie tussen bouw en functie uitleggen.
- Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en orgaanstelsels van de mens en van andere eukaryoten.

2 Het verteringsstelsel

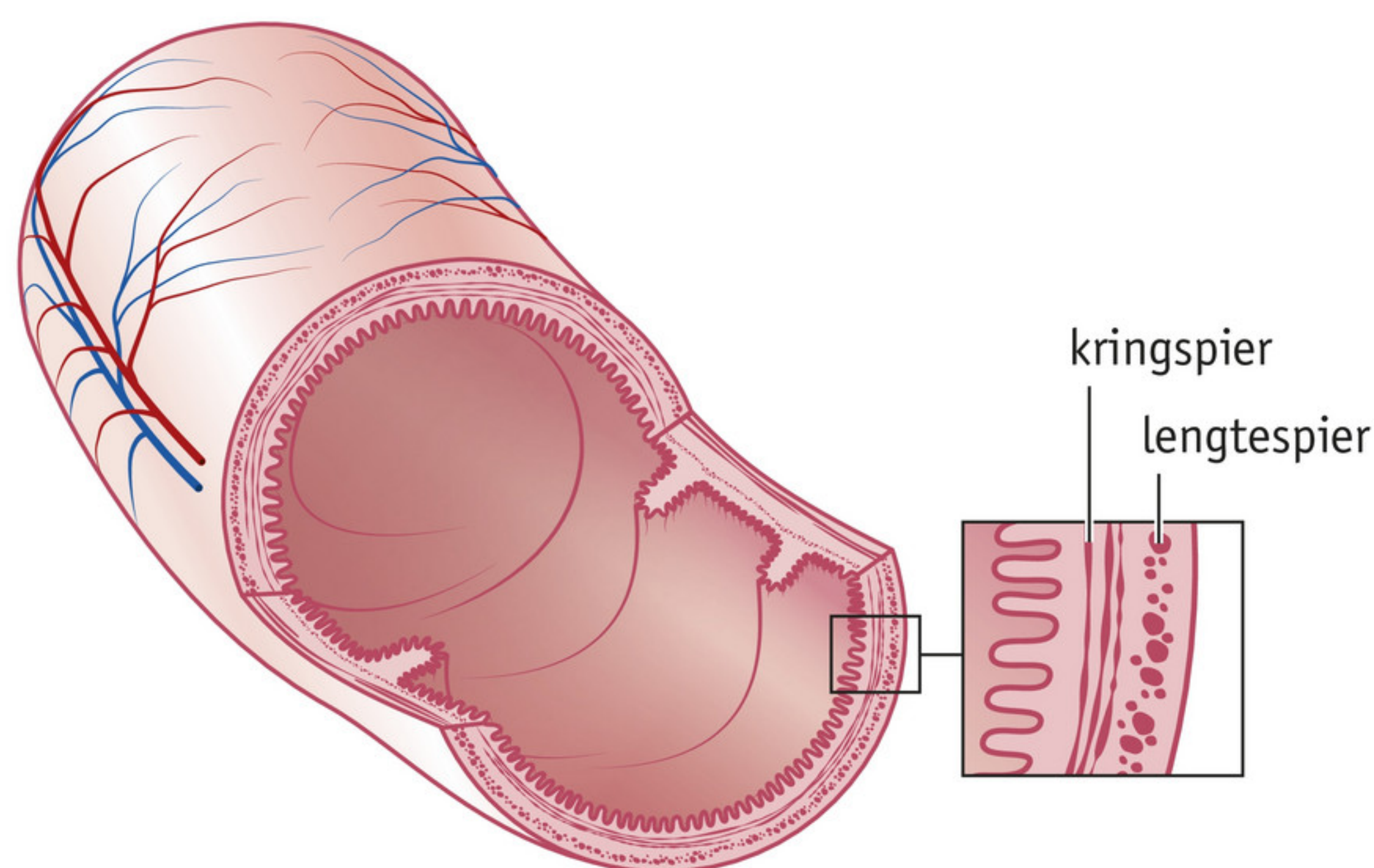
Het spijsverteringskanaal bestaat uit een lange buis en lichaamsholten. Via de mond komt het voedsel binnen en via de anus verlaten onverteerde resten het lichaam. Onderweg worden voedingsstoffen uit het voedsel opgenomen in het bloed.

HET DARMKANAAL

In het darmkanaal (verteringskanaal) vindt vertering van het voedsel plaats. Grote organische moleculen (eiwitten, koolhydraten en vetten) uit de voedselbrij worden met behulp van enzymen afgebroken tot kleine moleculen: de **verteringsproducten**. Die worden vervolgens via de cellen van de darmwand opgenomen in het bloed. In het lichaam kunnen van deze kleine moleculen tijdens de voortgezette assimilatie weer grote moleculen worden gemaakt.

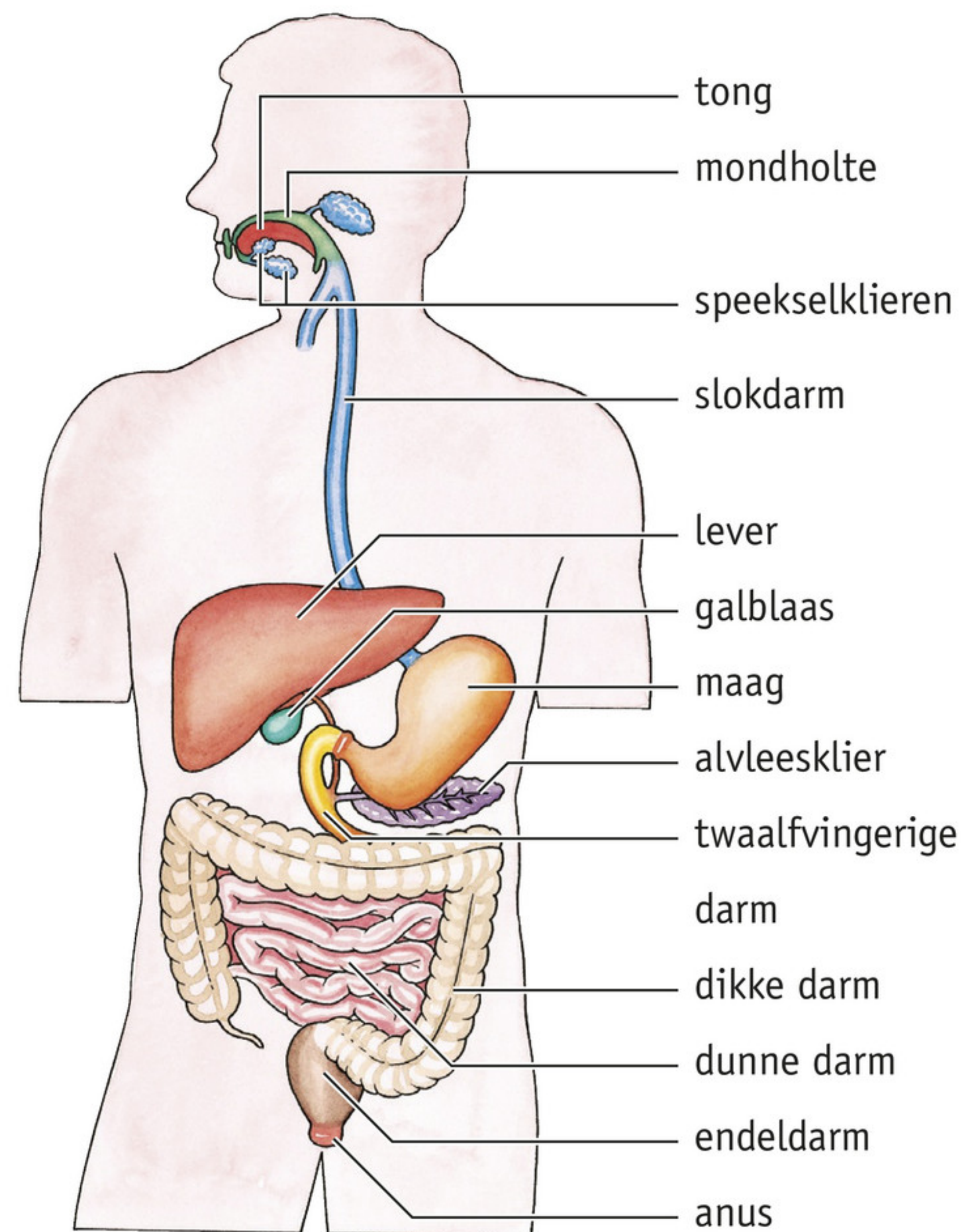
In de wand van het hele darmkanaal bevinden zich **kringspieren** en **lengtespieren** (zie afbeelding 17). Door het afwisselend samentrekken van deze spieren ontstaat de **darmperistaltiek**. Hierdoor wordt de voedselbrij voortgeduwd, gekneed en goed gemengd met de **verteringssappen** die **verteringsklieren** afgeven aan de voedselbrij in het darmkanaal. Veel verteringssappen bevatten enzymen. De darmperistaltiek wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel. Je kunt de peristaltische bewegingen dus niet bewust versnellen of vertragen. Voedingsvezels en lichaamsbeweging stimuleren de darmperistaltiek, vooral in de dikke darm. Hierdoor verloopt de stoelgang goed.

► **Afb. 17** Kringspieren en lengtespieren in het darmkanaal (schematisch).

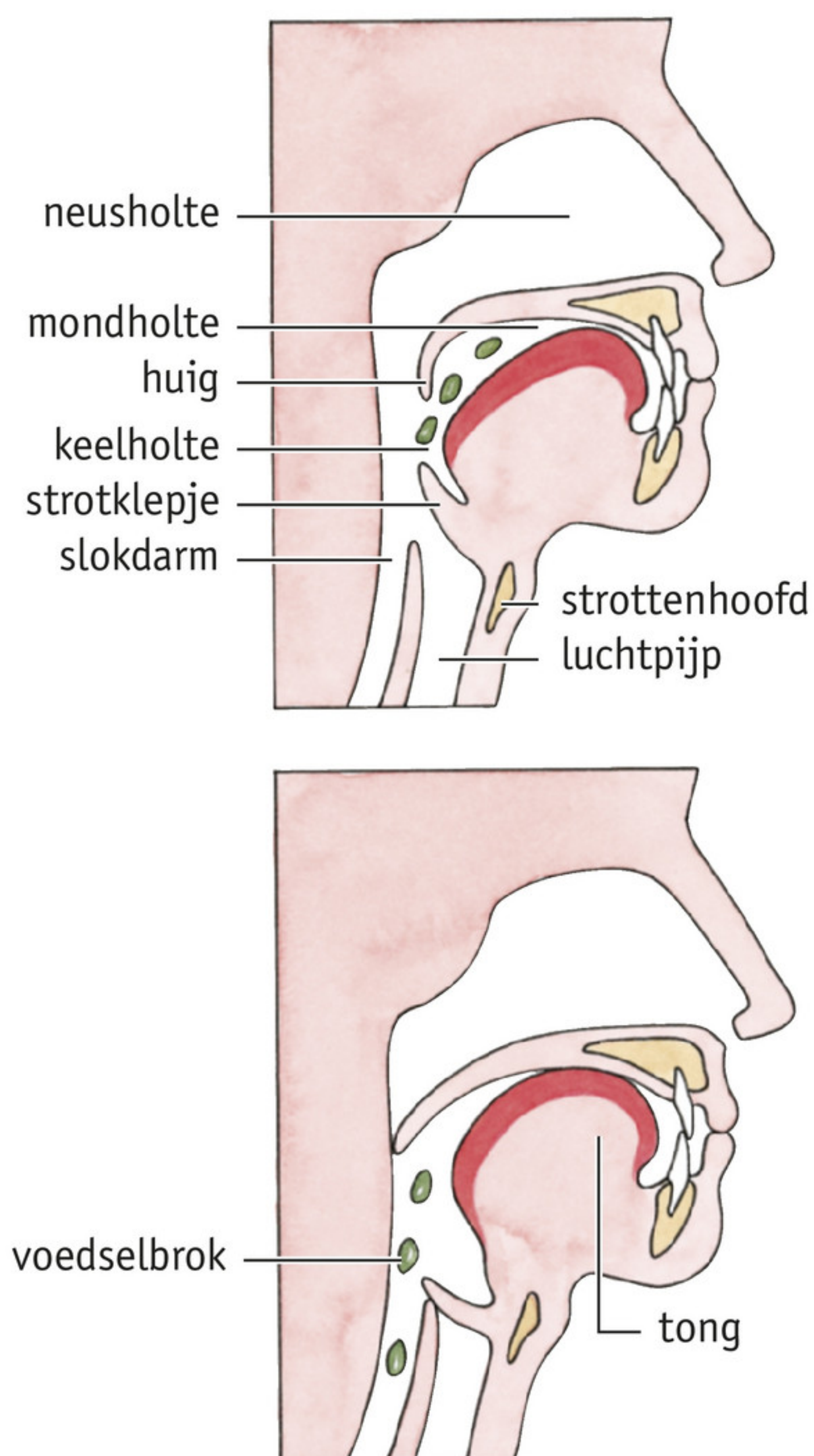


In afbeelding 18 is het verteringsstelsel van de mens getekend. Het voedsel ondergaat in je darmkanaal allerlei bewerkingen. Het kauwen van voedsel met je gebit en het kneden en mengen van de voedselbrij door de darmperistaltiek noem je **mechanische vertering**. Hierdoor kunnen enzymen uit verteringssappen beter op het voedsel inwerken. De bewerking van voedsel door enzymen noem je **chemische vertering**.

► **Afb. 18** Het verteringsstelsel van de mens (schematisch).



▼ **Afb. 19** De slikreflex (schematisch).



DE VERTERINGSORGANEN

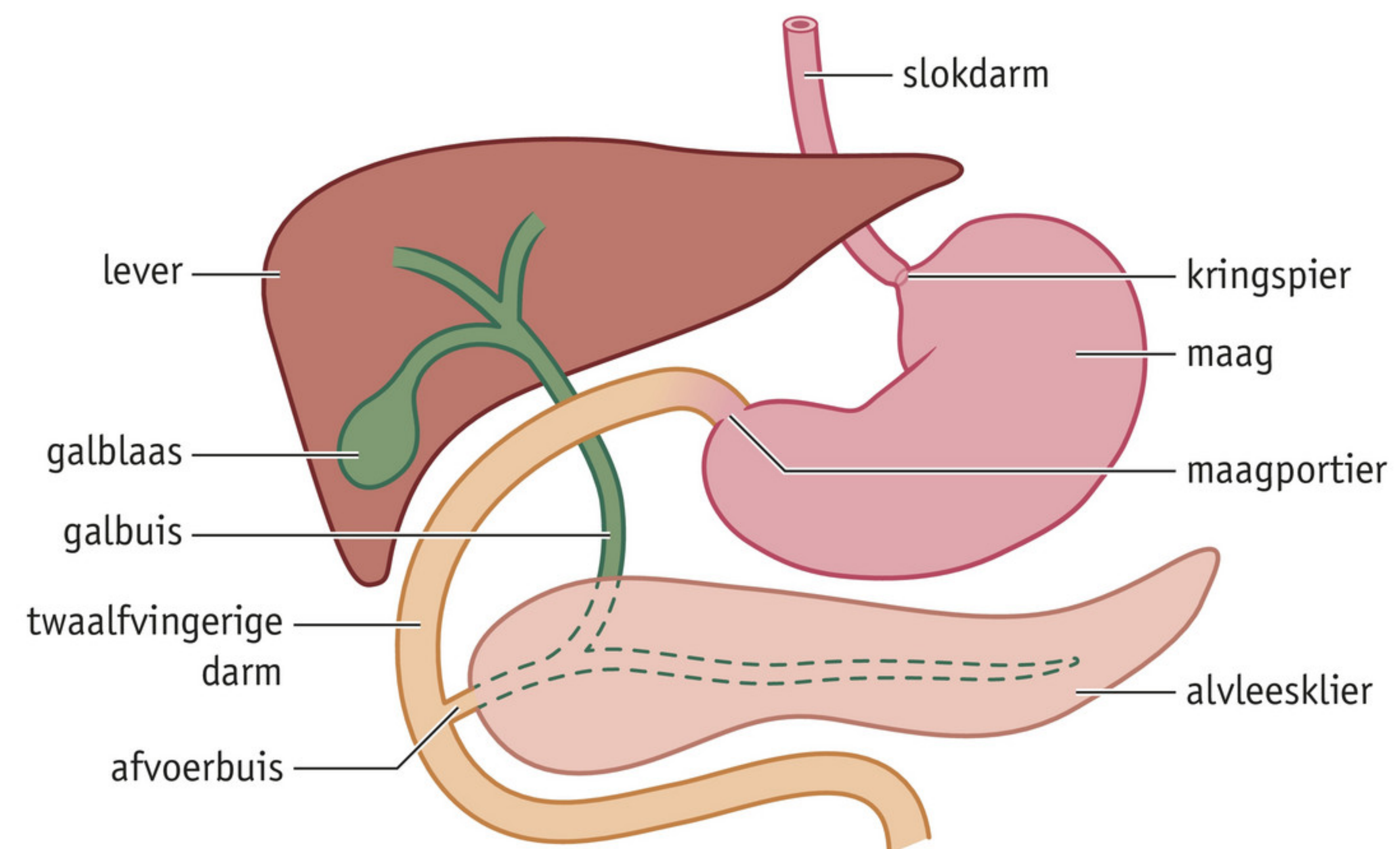
Snijtanden en hoektanden gebruik je vooral voor het afbijten van stukken voedsel. Voedsel kauwen doe je met je kiezen. Door te kauwen verdeel je het voedsel in kleine stukjes, waardoor het totale oppervlak wordt vergroot. Ook meng je het voedsel met speeksel. De enzymen in speeksel kunnen daardoor goed op het voedsel inwerken en het inslikken van de voedselbrokken gaat gemakkelijker doordat speeksel slijmerig is. Met de tong duw je het gekauwde voedsel naar de keelholte. Voedsel in de keelholte veroorzaakt prikkels die de slikreflex in werking zetten (zie afbeelding 19). De neusholte wordt afgesloten met de **huig**. Tegelijkertijd beweegt het **strottenhoofd** iets omhoog en het **strotklepje** kantelt naar achteren. Daardoor wordt de toegang naar de luchtpijp afgesloten. Het voedsel kan dan alleen de **slokdarm** in.

Het slikken zet in de slokdarm peristaltische bewegingen in werking, zodat het voedsel naar de **maag** wordt getransporteerd. De maag heeft bij de ingang en uitgang een kringspier die de passage van voedsel reguleert. De kringspier tussen slokdarm en maag ontspant zich na het slikken, waardoor het voedsel in de maag terechtkomt. In de maag wordt het voedsel tijdelijk opgeslagen doordat de andere kringspier (de **maagportier** of **pylorus**) de uitgang afsluit. Gemiddeld blijft een maaltijd drie tot vier uur in de maag, zodat verteringssappen goed op het voedsel kunnen inwerken.

Kliertjes in de wand van de maag voegen **maagsap** toe aan het ingeslikte voedsel. Maagsap bevat onder andere een enzym, zoutzuur (HCl) en slijm. Het zoutzuur zorgt voor een sterk zuur milieu in de maag. Dit doodt bacteriën die met het voedsel zijn meegekomen. Het slijm vormt een beschermende laag tegen de binnenzijde van de maagwand. Dit verhindert dat het maagsap de epitheelcellen van de maagwand aantast.

Van tijd tot tijd ontspant de maagportier zich. Een kleine hoeveelheid voedsel gaat dan door naar de **twalfvingerige darm**. Dit is het eerste gedeelte van de dunne darm. In de twalfvingerige darm monden de afvoerbuizen van de lever en de alvleesklier uit (zie afbeelding 20).

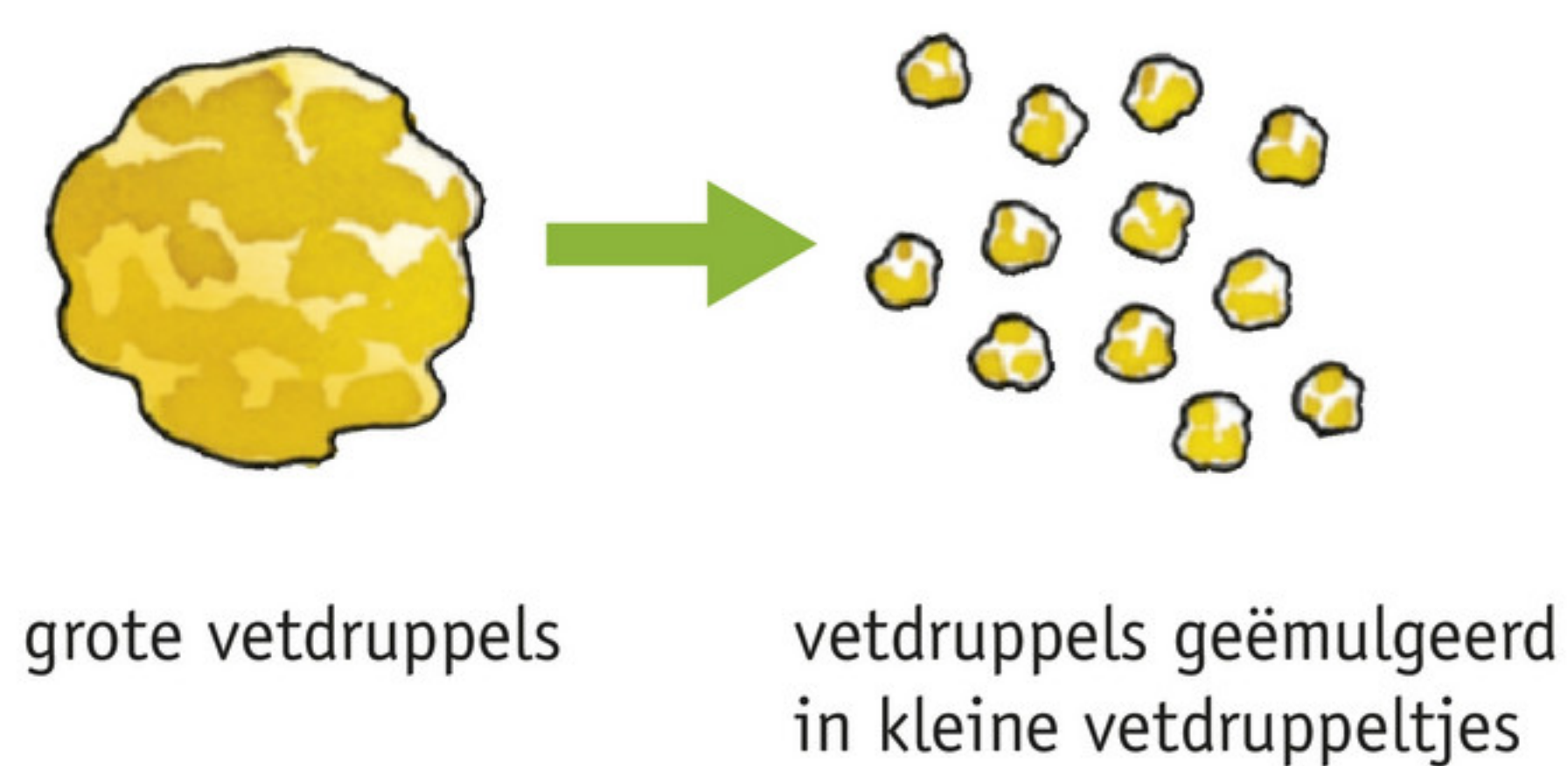
► **Afb. 20** De ligging van de maag, lever, galblaas, alvleesklier en twalfvingerige darm (schematisch).



GAL EN DARMSAP

De **lever** produceert **gal**. Gal wordt tijdelijk opgeslagen in de **galblaas**. De galblaas geeft gal af via de galbuis als vethoudend voedsel de wand van de twalfvingerige darm passeert. Gal bevat galkleurstoffen en galzouten. De **galkleurstoffen** zijn afbraakproducten van dode rode bloedcellen. Ze geven de bruine kleur aan de ontlasting. De **galzouten** verdelen grote vetdruppels in het voedsel in kleine druppeltjes. Dit heet **emulgeren** (zie afbeelding 21). Door emulgeren wordt het totale oppervlak van de vetdruppels sterk vergroot. Dat is nodig, omdat vetten en oliën niet mengen met water maar grote druppels vormen (zie afbeelding 22). De **alvleesklier (pancreas)** produceert **alveessap**. In de wand van de dunne darm bevinden zich kliertjes die darmsap afscheiden. Alvleessap en darmsap bevatten verschillende enzymen.

▼ **Afb. 21** Gal emulgeert vetten.



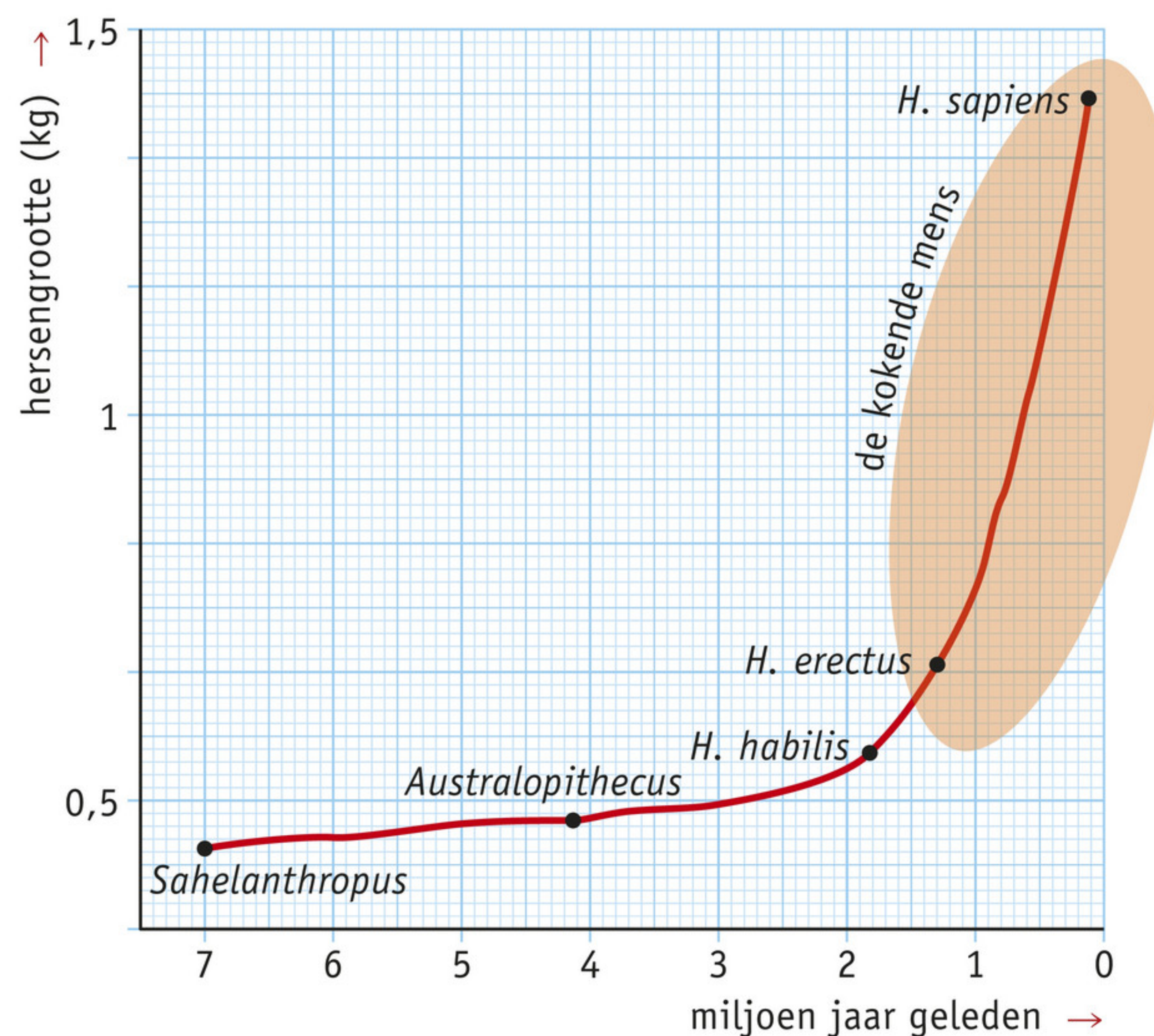
▼ **Afb. 22** Water met vetdruppels.



opdrachten

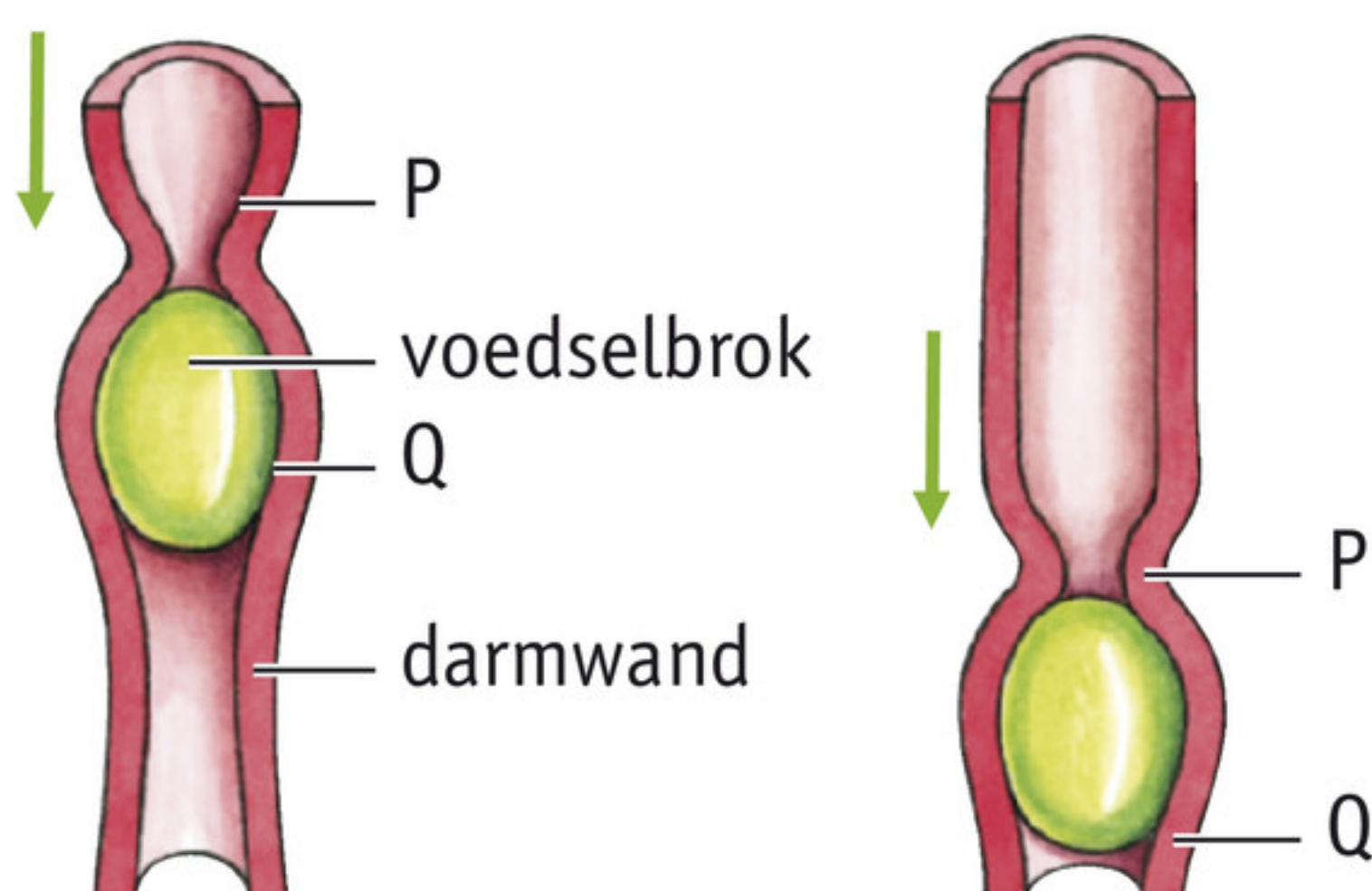
- 11** Raw-foodisten eten alleen voedingsmiddelen die niet eerst zijn bereid door middel van koken, bakken, braden of een andere vorm van verhitting. Vaak zijn het plantaardige voedingsmiddelen. Soep, taart, smoothies: alles wordt rauw bereid. Volgens onderzoek van neurowetenschapper Suzana Herculano-Houzel zouden mensen zo'n 9,3 uur per dag moeten eten om hun energie alleen uit rauw voedsel te halen. Raw-foodisten besteden veel minder tijd aan eten.
- a** Op welke manier verkorten raw-foodisten de tijd die nodig is om rauw voedsel te eten? Zoek eventueel op internet.
- b** Algemeen wordt aangenomen dat de *Australopithecus*, *H. habilis* en *H. erectus* voorouders zijn van de *Homo sapiens* (zie afbeelding 23). De *Australopithecus* had enorme kaken met grote kauwspieren. De *Homo sapiens* heeft die sterk ontwikkelde kaken niet. Leg dat uit.

► **Afb. 23** Toename van de hersengrootte bij de mens.



- 12 a** Door veel plantaardig voedsel te eten, kun je een verstopping (constipatie) voorkomen. Leg dat uit.
- b** Afbeelding 24 geeft weer hoe een voedselbrok wordt voortgeduwd door darmperistaltiek. Welke spieren in de wand van het darmkanaal trekken zich samen op de plaatsen P? En welke spieren op de plaatsen Q?
- c** Kan er voedsel van je mond in je maag komen als je op je hoofd staat? Leg je antwoord uit.
- d** Door voedsel onhygiënisch te bewaren of te bereiden, kunnen ziekmakende micro-organismen in het voedsel terechtkomen en zich snel vermenigvuldigen. Sommige van deze micro-organismen produceren afvalstoffen die giftig zijn voor de mens. De peristaltiek in de dunne en dikke darm vindt plaats in een frequentie van tien tot dertig samentrekkingen per minuut. Giftige stoffen in de voedselbrij kunnen een veel snellere en krachtigere peristaltiek veroorzaken. Hoe merk je dat de darmperistaltiek sneller en krachtiger is?
- e** Wat is het nut van een snellere en krachtigere darmperistaltiek wanneer de voedselbrij giftige stoffen bevat?

▼ **Afb. 24** Darmperistaltiek.



- f Ook door overgeven (braken) kun je giftige stoffen uit je lichaam verwijderen. Wanneer receptoren in het braakcentrum in de hersenstam worden geprikkeld door chemische stoffen in het bloed, gaan er impulsen naar de kringspieren en lengtespieren in het darmkanaal. Welke gevolgen hebben deze impulsen voor de darmperistaltiek?

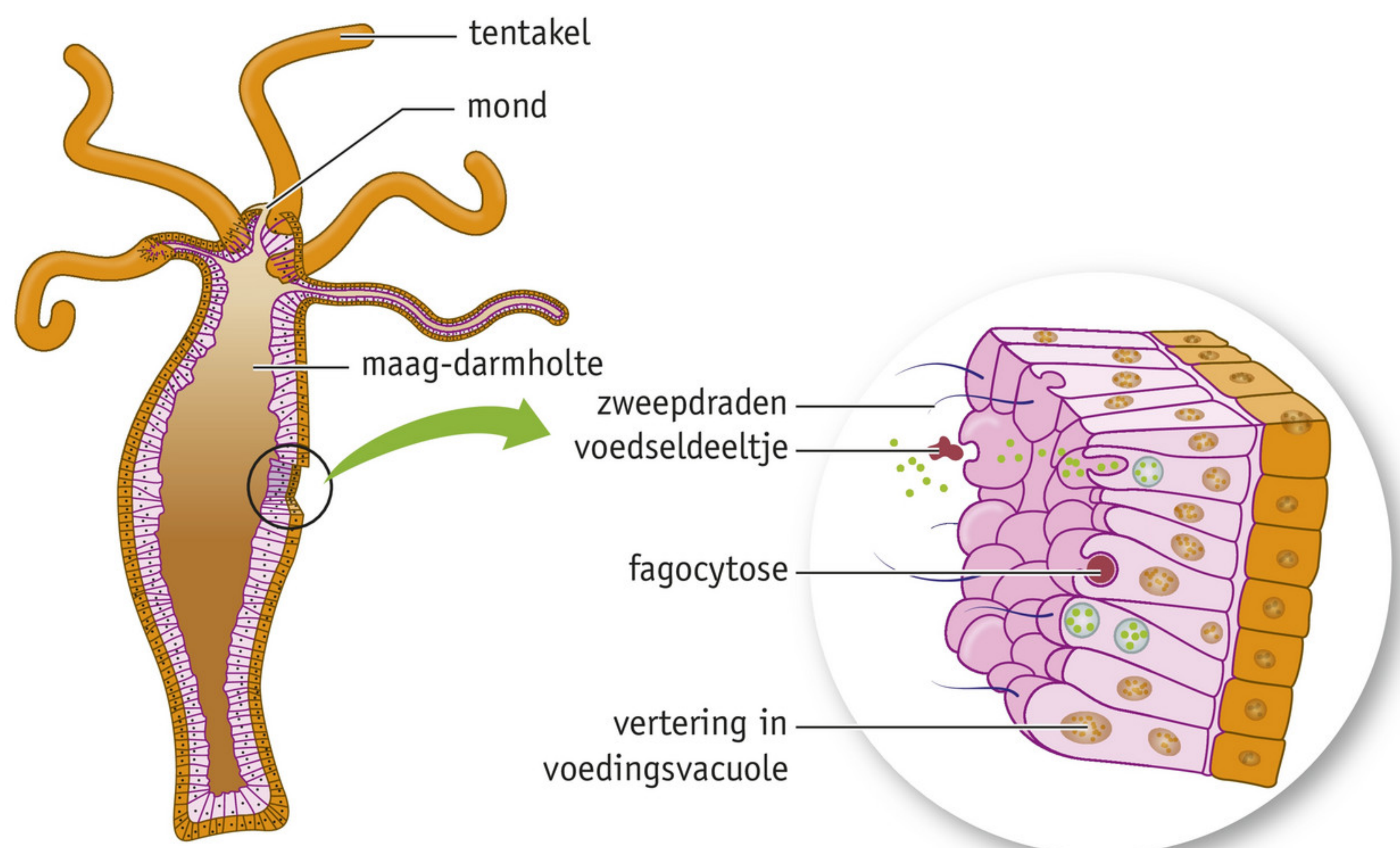
13 Leg uit wat er gebeurt wanneer je je verslikt.

VERTERING BIJ DIEREN

De meeste heterotrofe organismen kunnen vrij bewegen en hebben aanpassingen om voedsel te bemachtigen, op te nemen en te verwerken. Sommige eencellige organismen nemen voedsel op door **fagocytose**: het instulpen van het celmembraan en het afsnoeren van blaasjes. Bij amoeben en pantoffeldiertjes versmelten deze **voedingsvacuolen** met lysosomen, waarin zich verteringsenzymen bevinden. De verteringsproducten die dan ontstaan, worden via het membraan van de voedingsvacuole opgenomen in het cytoplasma. Bij deze organismen vindt de vertering in de cel plaats. Dit noem je **intracellulaire vertering**.

Eenvoudige meercellige organismen hebben een ingewikkeldere bouw en spijsverteringsstelsel. De vertering vindt meestal plaats in een speciale ruimte in het lichaam: de **maagdarmholte**. Dit is een holte met slechts één opening die mond en anus tegelijk is (zie afbeelding 25). Dit noem je **extracellulaire vertering**.

► **Afb. 25** Lengtedoorsnede van een zoetwaterpoliep (hydra).



Complexer gebouwde organismen, zoals rondwormen, hebben een darmkanaal met een mond en een anus. De ingang van het darmkanaal is bij deze dieren een orgaan om voedsel mee te grijpen en naar binnen te werken. Een doorlopend spijsverteringskanaal maakt eenrichtingsverkeer van het voedsel mogelijk. Hierdoor kan het voedsel veel efficiënter worden bewerkt en verwerkt. De vertering vindt extracellulair plaats in het darmkanaal. De cellen van het darmkanaal nemen alleen de bruikbare eindproducten van de vertering op.

Bij veel dieren bestaat het darmkanaal uit gespecialiseerde compartimenten. In elk compartiment worden bepaalde voedingsstoffen verteerd en opgenomen, doordat de omstandigheden daar optimaal zijn voor de bijbehorende verteringsenzymen.

Vogels en sommige insecten hebben een krop om voedsel tijdelijk op te slaan en te weken. De maag is bij veel organismen het gedeelte van het darmkanaal waar de eerste vertering plaatsvindt. In de rest van het darmkanaal vindt de verdere vertering plaats. Ongewervelde dieren en vogels gebruiken vaak hun maag voor het kauwen (spiermaag). Vogels hebben achter deze spiermaag nog een kliermaag, waarin zoutzuur en pepsine worden afgescheiden voor de vertering. Uit deze adaptaties blijkt dat dieren organen bezitten die zijn aangepast aan hun leefwijze.

opdrachten

- 14 In de evolutie van vogels is de snavel de vervanger geworden van kaken en tanden. De snavel bestaat uit hoornachtig materiaal en de vorm van de snavel is aangepast aan het voedselpatroon.
 - a Leg uit dat het voor een vogel een voordeel is om een snavel te hebben in plaats van kaken met tanden.
 - b Sommige vogelsoorten slikken steentjes in die terechtkomen in de spiermaag.
Leg uit waarom ze dat doen.
- 15 Een spin spuit gif in zijn prooi om die te verlammen. Het gif heeft ook een sterk verterende werking, waardoor de spin de vloeibaar geworden bestanddelen na een tijdje kan opzuigen.
Leg uit dat het maagdarmkanaal van een spin relatief klein en kort is.
- 16 Afbeelding 25 is een tekening van de lengtedoorsnede van een zoetwaterpoliep.
 - a Vindt vertering bij een zoetwaterpoliep intracellulair of extracellulair plaats?
Leg je antwoord uit.
 - b In een darmkanaal met gespecialiseerde compartimenten heeft elk compartiment optimale omstandigheden voor bepaalde verteringsenzymen. Wat is dan het nadeel van het verteren van voedsel in één maagdarmholte?

CONTEXT

Wetenschap

Overleven op bamboe

▼ **Afb. 26** Onverteerde resten uit poep van een reuzenpanda.



In afbeelding 26 zie je de onverteerde resten uit poep. De reuzenpanda waarvan de poep afkomstig is, heeft een heleboel bamboe gegeten. Bamboe is een vezelige grassoort. Voor reuzenpanda's zijn de belangrijkste koolhydraten in bamboe cellulose en hemicellulose. Reuzenpanda's verteren ongeveer 8% van de cellulose en 27% van de hemicellulose. Dat is niet bijzonder veel. Een reuzenpanda is dan ook eigenlijk een roofdier met het korte en simpele darmstelsel van een vleeseter. Reuzenpanda's hebben niet eens vezelafbrekende bacteriën in hun darmen. Microbiologen die het DNA van darmbacteriën in reuzenpandapoep onder de loep namen, zagen de darmflora van een vleeseter. Om toch aan voldoende voedingsstoffen te komen uit de bamboe, eten reuzenpanda's soms wel veertien uur per dag tot wel een derde van hun gewicht aan bamboe.

opdracht

- 17** Een volwassen reuzenpanda weegt gemiddeld 120 kg en kan wel 100 drollen per dag produceren. Bamboe bestaat uit 50% cellulose, 20% hemicellulose, 23% lignine en 7% overige stoffen.
- a** Bereken hoeveel onverteerde bamboe een reuzenpanda met een gemiddeld gewicht uitscheidt via zijn ontlasting als hij een derde van zijn gewicht aan bamboe eet.
 - b** Leptine is een verzadigingshormoon dat aan de hersenen het signaal geeft dat je voldoende hebt gegeten. Het verzadigingsgen is bij reuzenpanda's verminderd actief.
Leg uit dat dit het voor reuzenpanda's gemakkelijker maakt om te overleven op een bamboedieet.
 - c** Wetenschappers hebben ontdekt dat reuzenpanda's in vergelijking met andere beren kleine hersenen, nieren en levers hebben.
Wat is hiervan het voordeel?
 - d** Waarom is het voor andere planteneters gemakkelijker om voldoende voedingsstoffen en energie uit planten te halen?

Leerdoel

- Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden verteerd in het darmkanaal en verklaren op welke wijze factoren dit kunnen beïnvloeden.

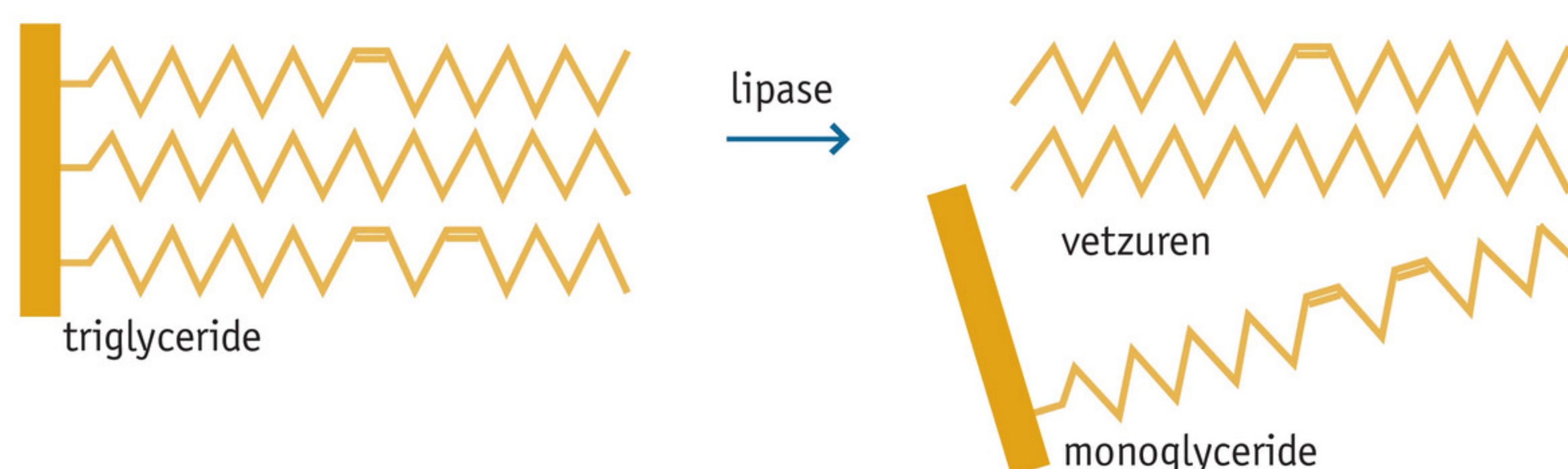
3 Chemische vertering

Je kunt je verteringsstelsel beschouwen als een sloopbedrijf. Het voedsel dat je binnenkrijgt wordt tot steeds kleinere en eenvoudigere brokstukken geknipt, zodat je darmen die uiteindelijk kunnen opnemen.

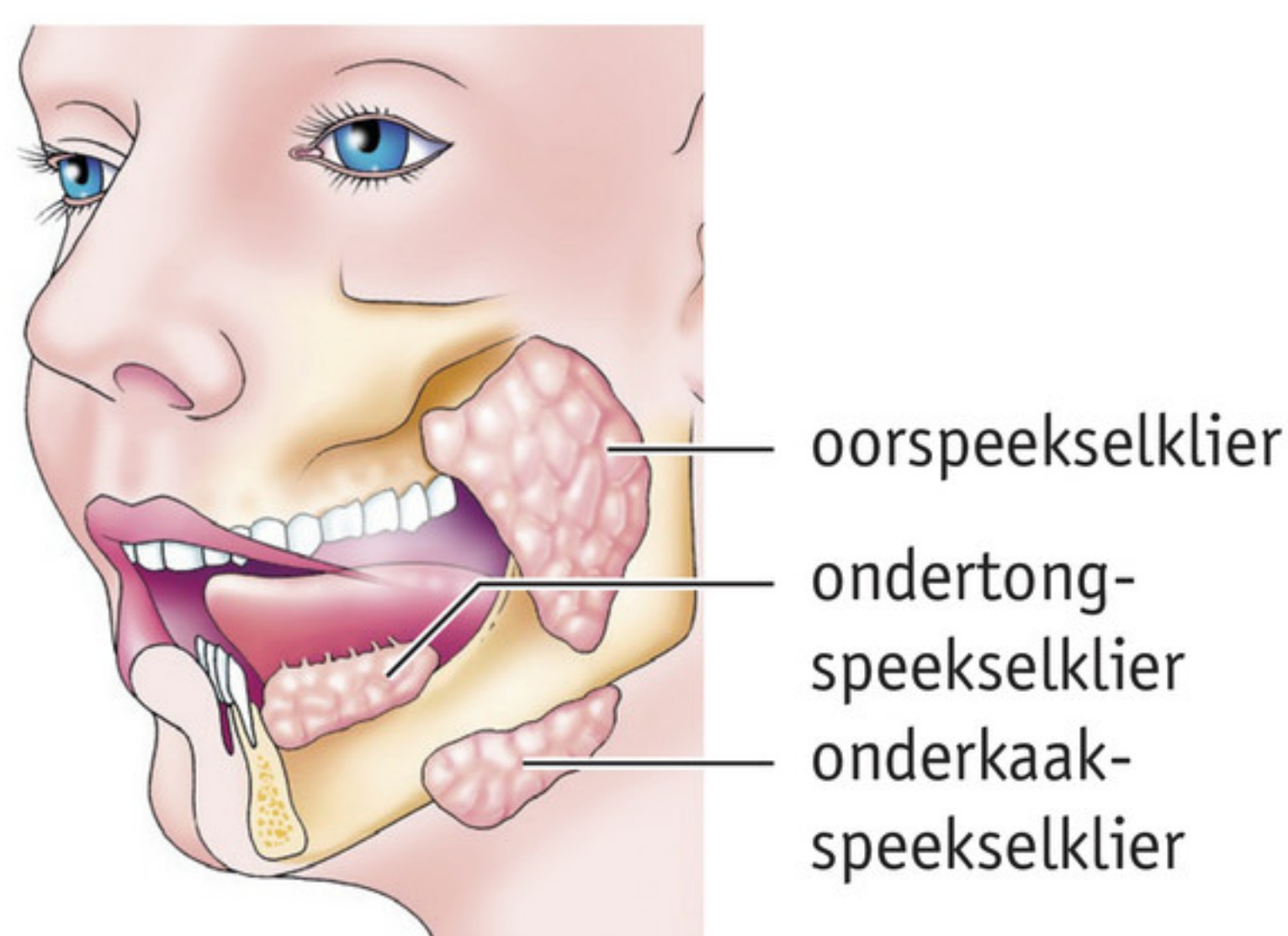
HET VERTERINGSPROCES

Niet alle voedingsstoffen in je voedsel hoeven te worden afgebroken. Monosachariden, water, mineralen en vitaminen kunnen zonder vertering in het bloed worden opgenomen. Eiwitten, disachariden, polysachariden en vetten moeten eerst worden verteerd. Door vertering worden eiwitmoleculen afgebroken tot afzonderlijke aminozuurmoleculen. Moleculen van polysachariden en disachariden worden gesplitst tot monosachariden. Vetmoleculen (triglyceriden) worden verteerd tot afzonderlijke glycerolmoleculen en vetzuurmoleculen. Bij een deel van de vetmoleculen wordt het laatste vetzuur niet afgesplitst en ontstaat een monoglyceride (zie afbeelding 27).

► **Afb. 27** De vertering van een triglyceride (schematisch).



▼ **Afb. 28** De ligging van de speekselklieren.



De afbraak van voedingsstoffen tot losse bouwstenen gebeurt met behulp van verschillende **verteringsenzymen** voor koolhydraten, eiwitten en vetten. De werking van enzymen wordt beïnvloed door de pH en de temperatuur. Voor alle verteringsenzymen is de lichaamstemperatuur (37 °C) de optimale temperatuur. Het pH-optimum verschilt per enzym.

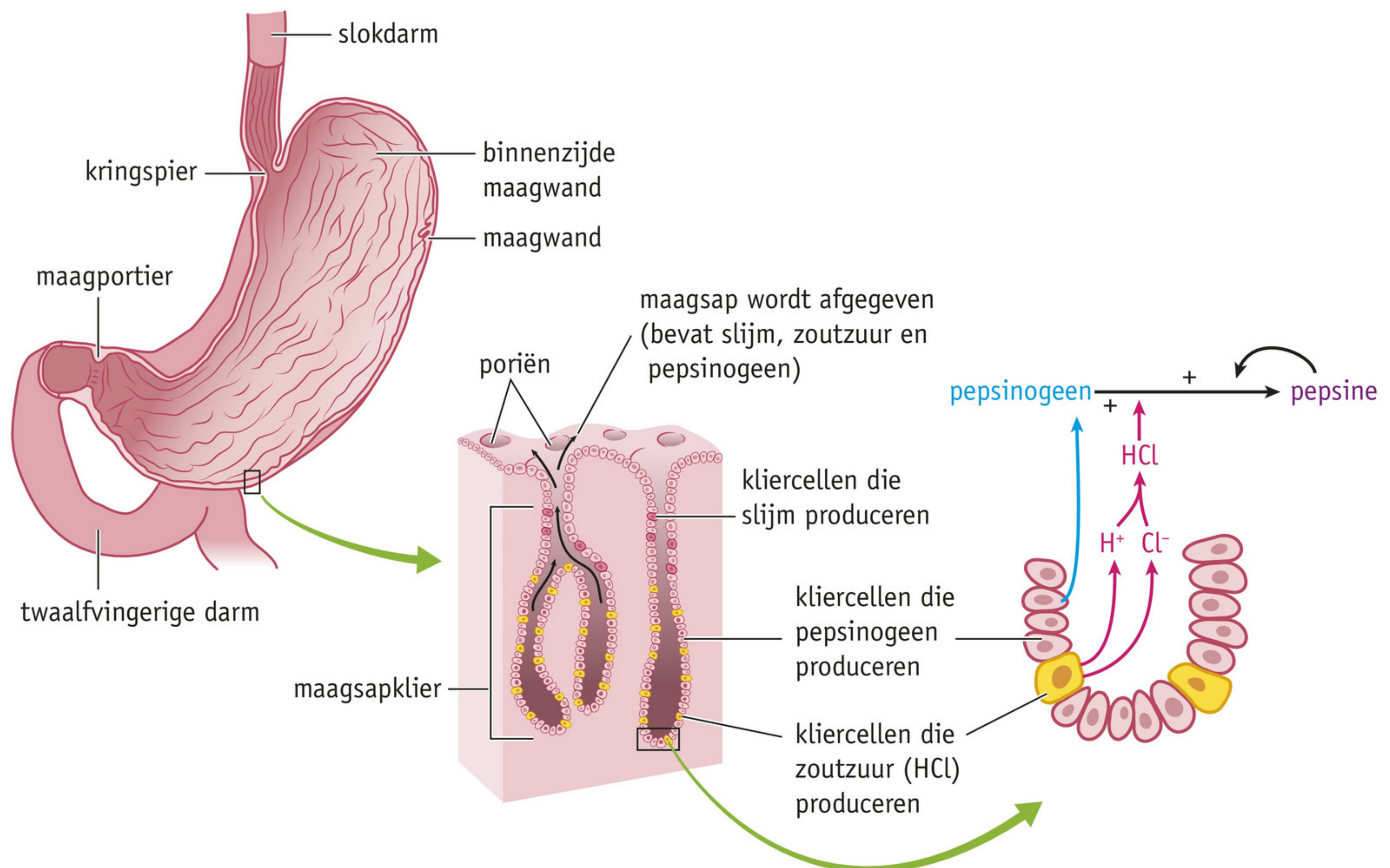
SPEEKSEL EN MAAGSAP

De vertering begint in je mond. Drie paar speekselklieren produceren één tot anderhalve liter speeksel per etmaal (zie afbeelding 28). Het autonome zenuwstelsel regelt de speekselaafgifte. Prikkeling van je zintuigen doordat je voedsel ziet of ruikt, kan leiden tot verhoogde speekselproductie. Je gaat dan 'watertanden'.

Speeksel bevat het enzym **amylase**, dat een deel van het zetmeel in het voedsel afbreekt tot **maltose** (een disacharide). Amylase is werkzaam bij een pH van ongeveer 6 tot 7,5. Het pH-optimum is 6,6. Als voedsel in de maag komt, dringt het zure maagsap geleidelijk in de voedselbrij door. Daardoor daalt langzaam de pH van de voedselbrij. Het gevolg hiervan is dat de amylase die met de voedselbrij mee in de maag is terechtgekomen, na enige tijd onwerkzaam wordt.

Als je voedsel ziet of ruikt, stimuleert het autonome zenuwstelsel klieren in de maagwand om de bestanddelen van maagsap te produceren (zie afbeelding 29). Als het voedsel in de maag is aangekomen, regelt het hormoon **gastrine** uit de maagwand de productie van maagsap. Een maagsapklier bestaat uit verschillende typen cellen. Een type klieren produceert H^+ -ionen en Cl^- -ionen, andere cellen

▼ **Afb. 29** De maag en de productie van maagsap (schematisch).



produceren slijm en weer andere pepsinogeen. **Pepsinogeen** is een inactief pro-enzym. Na afscheiding in de maag vormen H^+ -ionen en Cl^- -ionen zoutzuur (HCl opgelost in water). Onder invloed van zoutzuur wordt het inactieve pepsinogeen geactiveerd tot het enzym **pepsine**. Pepsine activeert zelf ook pepsinogeen. Hierdoor is het activeren van pepsinogeen een proces dat zichzelf versterkt. Dit is een voorbeeld van positieve terugkoppeling.

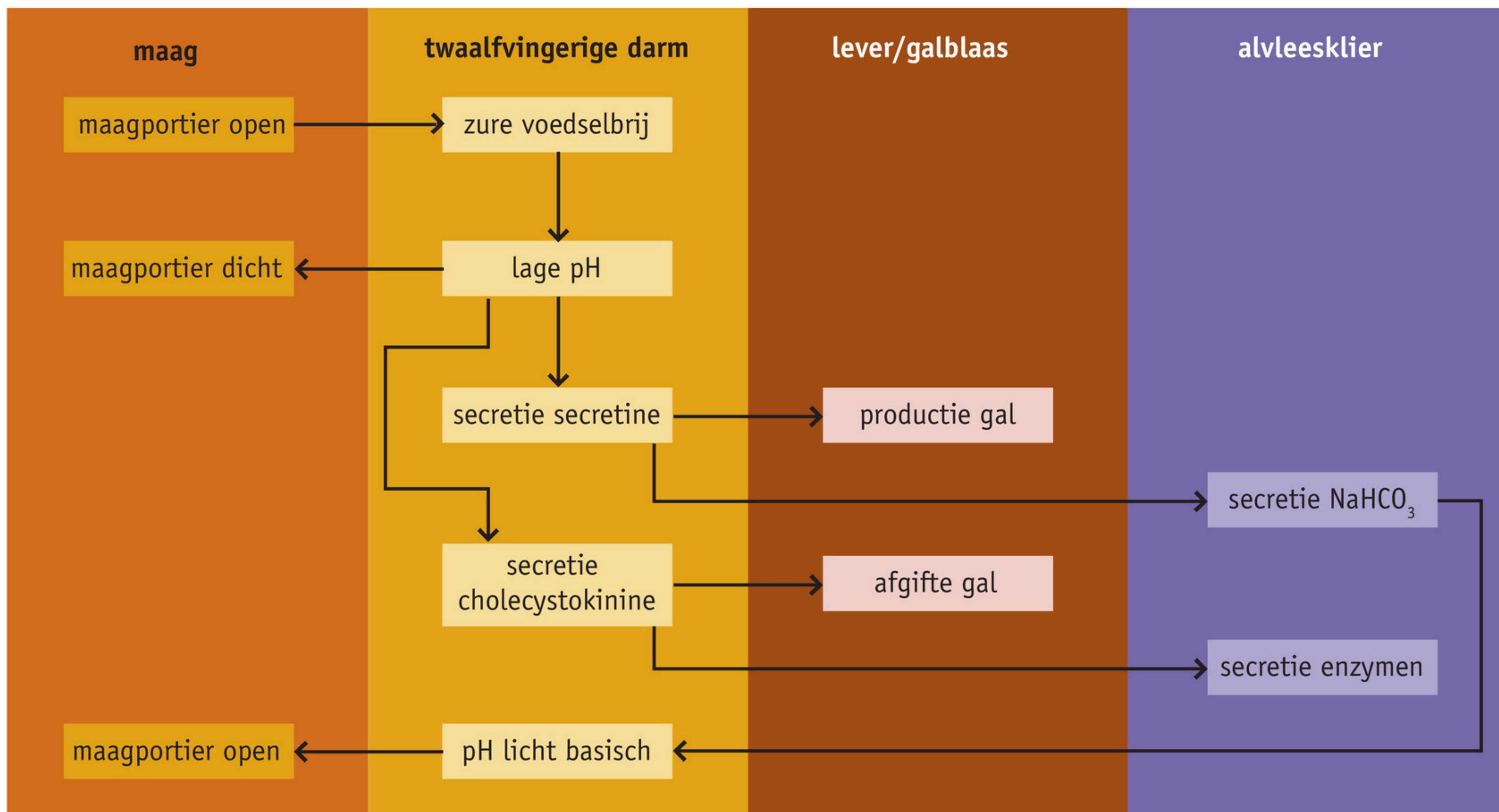
Onder invloed van het enzym pepsine worden eiwitmoleculen gesplitst. De verteringsproducten zijn enkele nog vrij lange aminozuurketens: polypeptiden. Pepsine is alleen werkzaam in een sterk zuur milieu. Het pH-optimum is 2,5.

ALVLEESSAP

Het openen en sluiten van de maagportier is afhankelijk van de pH in de twaalfvingerige darm (zie afbeelding 30). Als een kleine hoeveelheid zure voedselbrij uit de maag in de twaalfvingerige darm komt, wordt de pH in de twaalfvingerige darm laag. Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier zich samentrekt. De maagportier wordt daardoor gesloten. Ook stimuleert de zure voedselbrij bepaalde cellen in de wand van de twaalfvingerige darm tot secretie van de hormonen secretine en cholecystokinine.

Secretine stimuleert de lever tot het produceren van gal en de alveesklier tot de secretie van natriumwaterstofcarbonaat ($NaHCO_3$), dat basisch is en HCl uit de maag neutraliseert. Hierdoor stijgt de pH in de twaalfvingerige darm langzaam tot pH 8 à 9. Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier zich ontspant. Er wordt dan weer een nieuwe hoeveelheid zure voedselbrij toegelaten tot de twaalfvingerige darm.

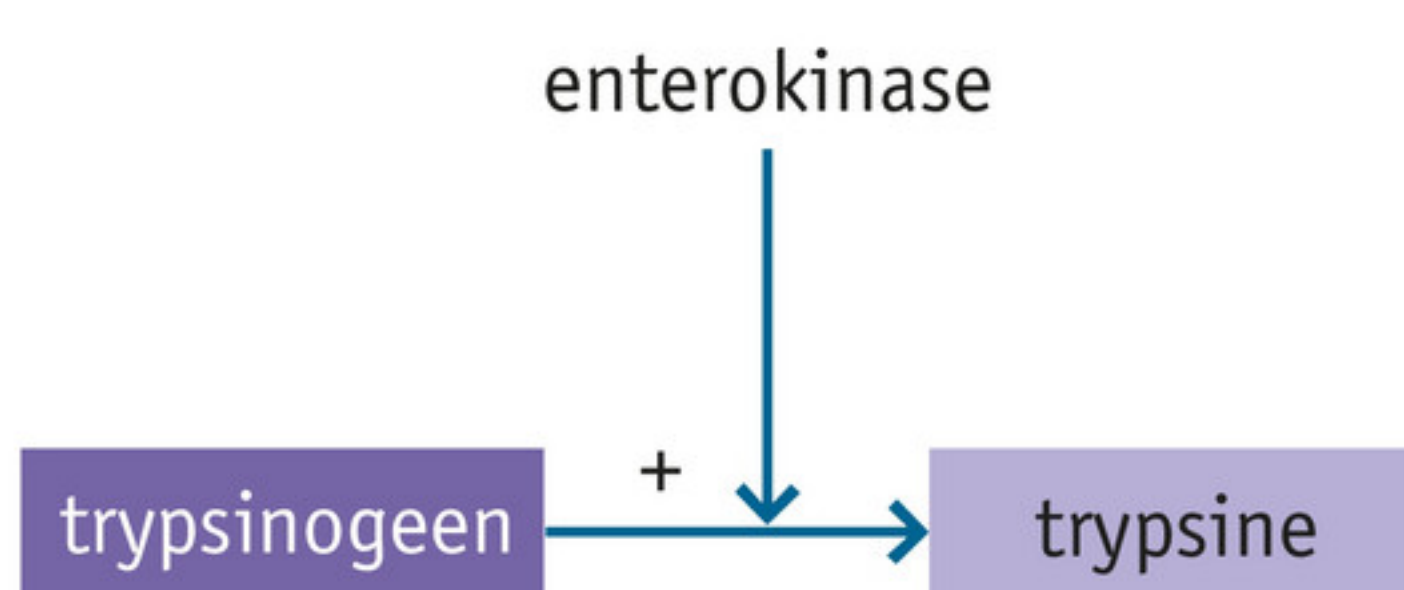
▼ **Afb. 30** Regelmechanismen onder invloed van de pH in de twaalfvingerige darm.



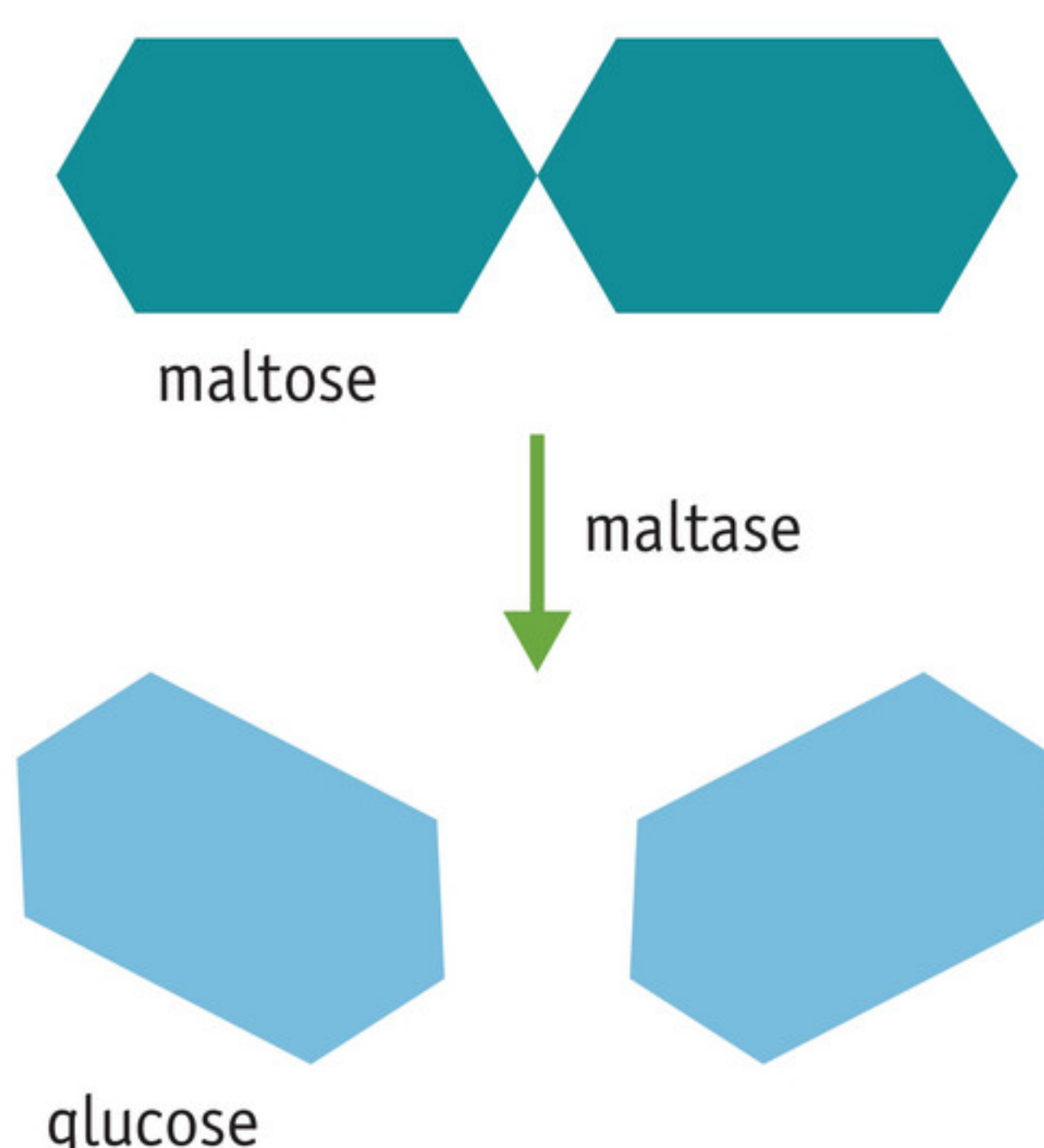
Cholecystokinine stimuleert de galblaas tot de afgifte van gal en de alveesklier tot de secretie van enzymen. De meeste enzymen in alveessap hebben een pH-optimum van ongeveer 8. Gal zorgt ervoor dat lipase goed kan inwerken op vetten.

Alveessap bevat het pro-enzym **trypsinogeen** en verschillende enzymen: peptidasen, amylase, lipase, DNA-ase en RNA-ase. In de wand van de twaalfvingerige darm wordt het enzym **enterokinase** gevormd, dat trypsinogeen activeert tot trypsine (zie afbeelding 31). **Trypsine** splitst moleculen van lange polypeptiden tot korte polypeptiden. **Peptidasen** breken deze polypeptiden verder af tot **dipeptiden**, **tripeptiden** en aminozuren. Amylase zorgt voor verdere afbraak van zetmeel tot maltose. **Lipase** splitst triglyceriden tot glycerolmoleculen, vetzuurmoleculen en monoglyceriden. **DNA-ase** en **RNA-ase** splitsen DNA en RNA in nucleotiden.

▼ **Afb. 31** Het activeren van trypsinogeen.



▼ **Afb. 32** De vertering van een maltosemolecuul onder invloed van maltase.



DARMSAP

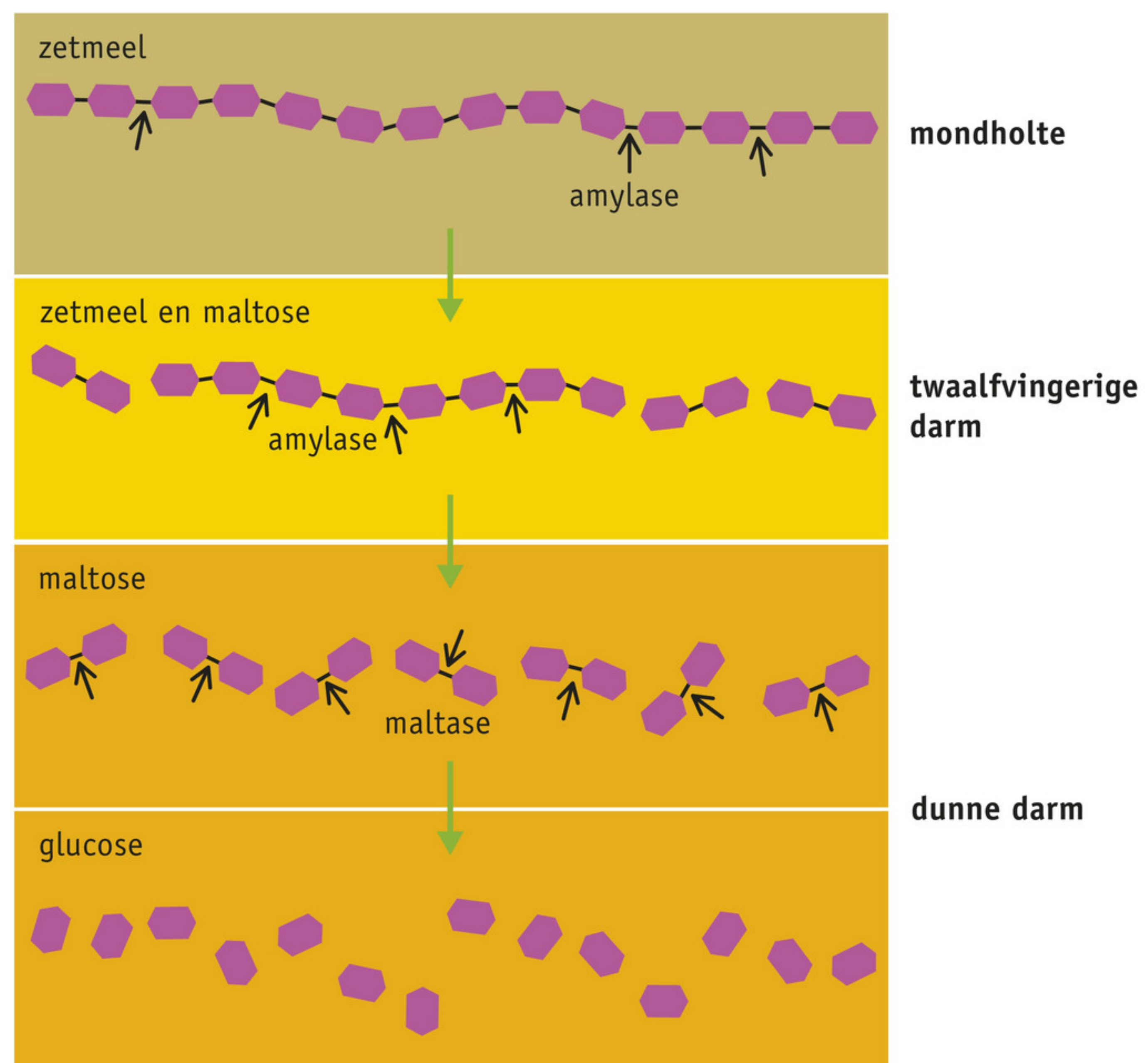
Door de vertering van vetten komen er steeds meer vetzuren vrij in de twaalfvingerige darm. Hierdoor daalt langzaam de pH van de voedselbrij. Als de voedselbrij in de dunne darm aankomt, is de pH ongeveer 7.

In de dunne darm wordt de vertering van voedingsstoffen voltooid. Darmsap bevat onder andere de enzymen maltase, sacharase, lactase en peptidasen. **Maltase** splitst een maltosemolecuul in twee glucosemoleculen (zie afbeelding 32). Hiermee is de vertering van zetmeel voltooid.

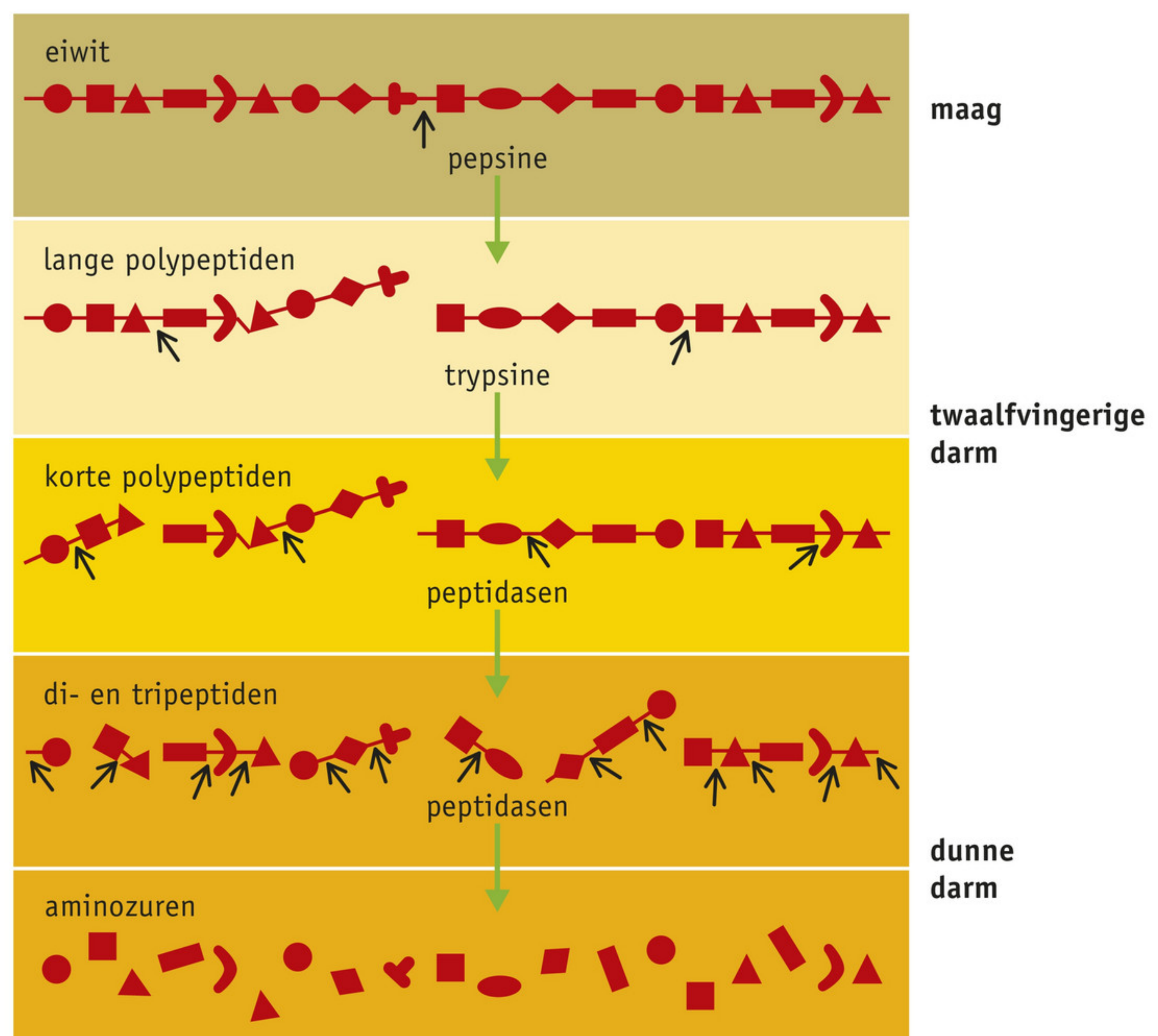
In afbeelding 33 is de vertering van zetmeel schematisch weergegeven.

Sacharase verteert sacharose (riet- of bietsuiker) en **lactase** verteert lactose (melksuiker). In afbeelding 34 is de vertering van een eiwit vanaf de maag tot aan de dunne darm schematisch weergegeven. Peptidasen in het darmsap breken de resterende di- en tripeptiden af tot aminozuren. Hiermee is de vertering van eiwitten voltooid.

► **Afb. 33** De vertering van zetmeel (schematisch).



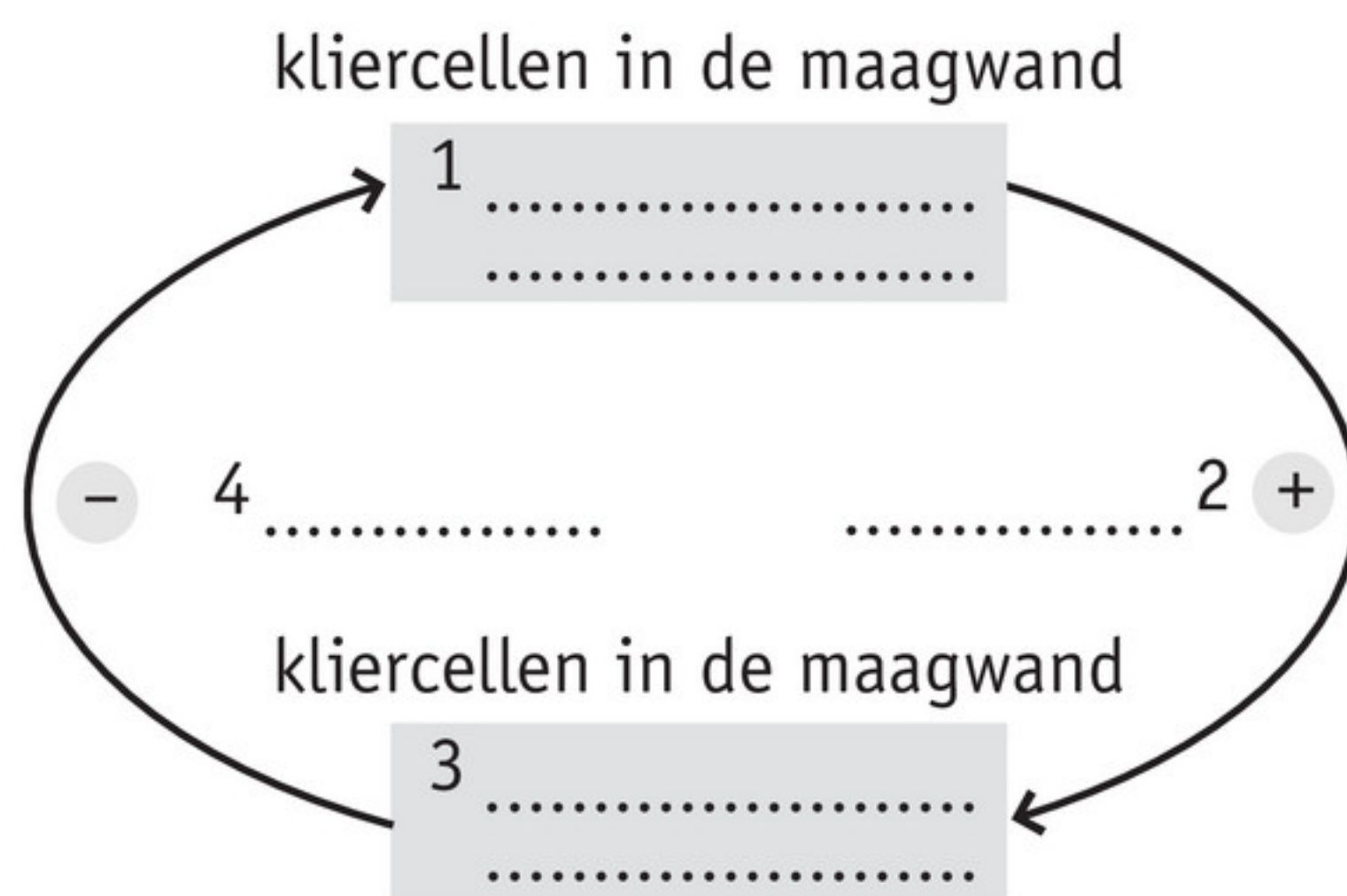
► **Afb. 34** De vertering van een eiwit (schematisch).



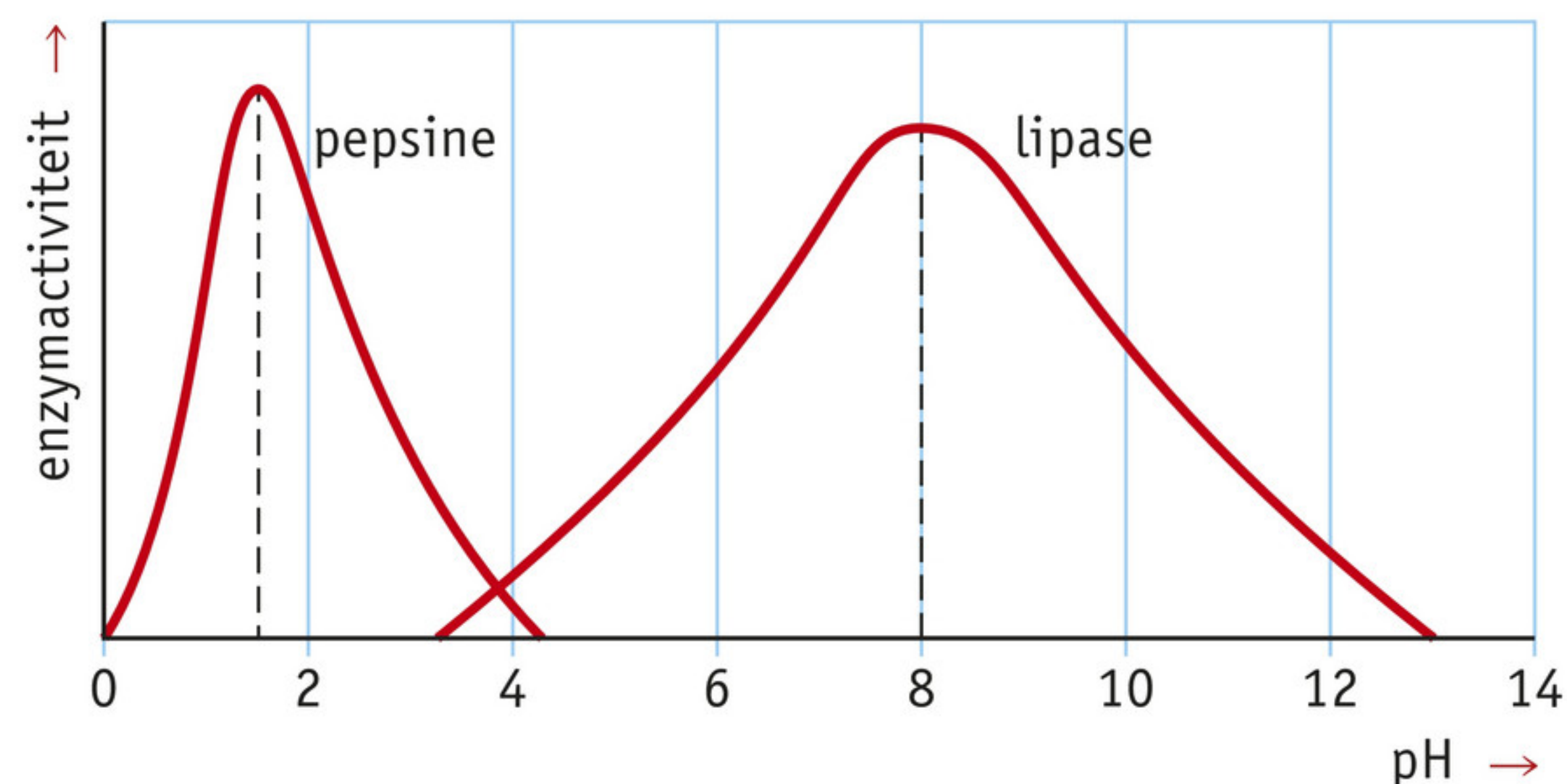
opdrachten

- 18 a** Kan in de slokdarm vertering plaatsvinden? Leg je antwoord uit.
- b** De werking van de amylase uit speeksel stopt na enige tijd in de maag, doordat de pH van de voedselbrij te laag is geworden. Maar ook pepsine zorgt ervoor dat amylase na enige tijd niet meer werkt. Leg dat uit.
- c** Een klein deel van de amylase blijkt veertig minuten na afgifte actief te zijn in de dunne darm. Geef hiervoor een verklaring.

▼ **Afb. 35** Het regelmechanisme voor de productie van maagsap.

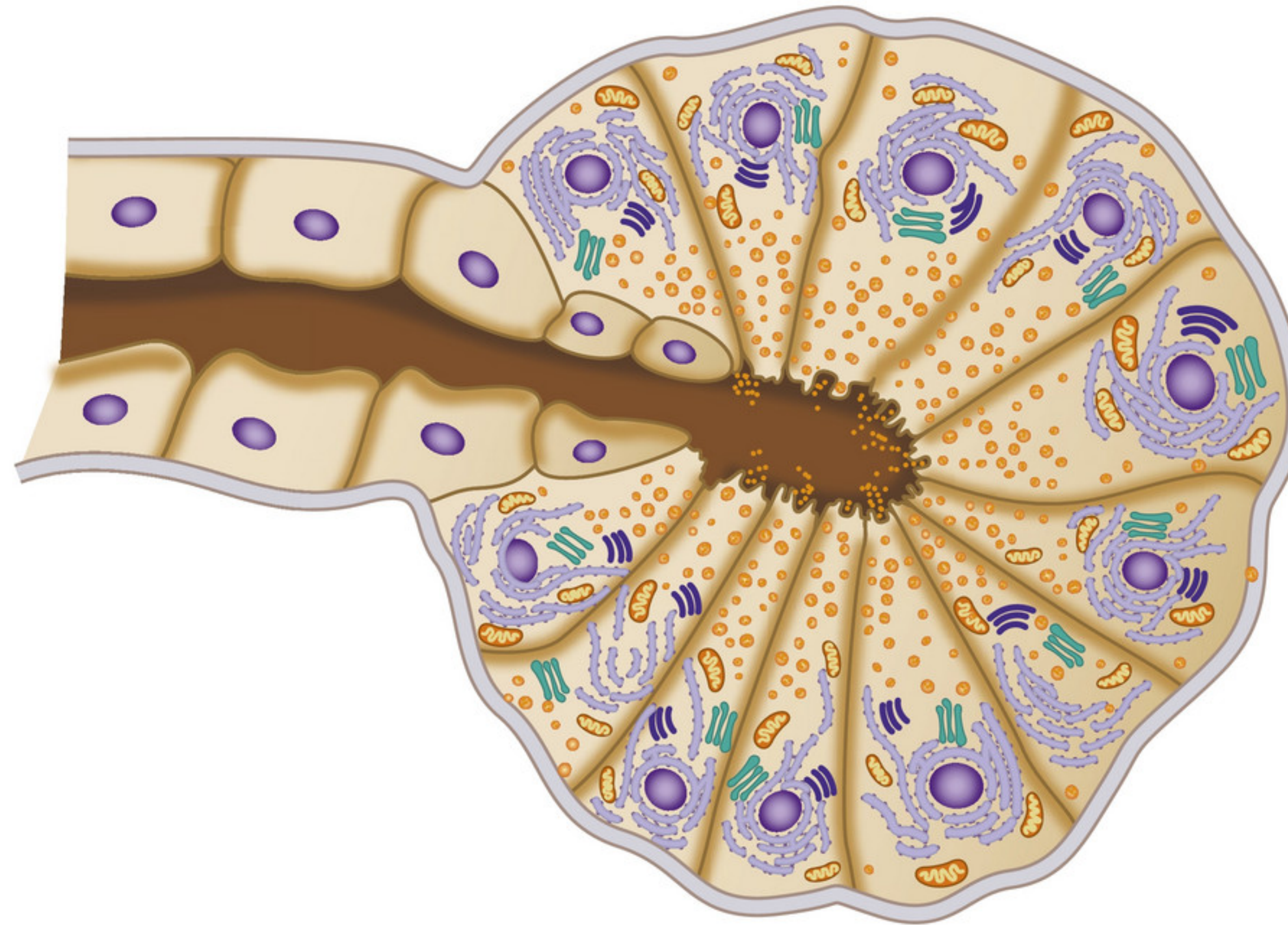


► **Afb. 36** Het verband tussen de pH en de activiteit van pepsine en lipase.



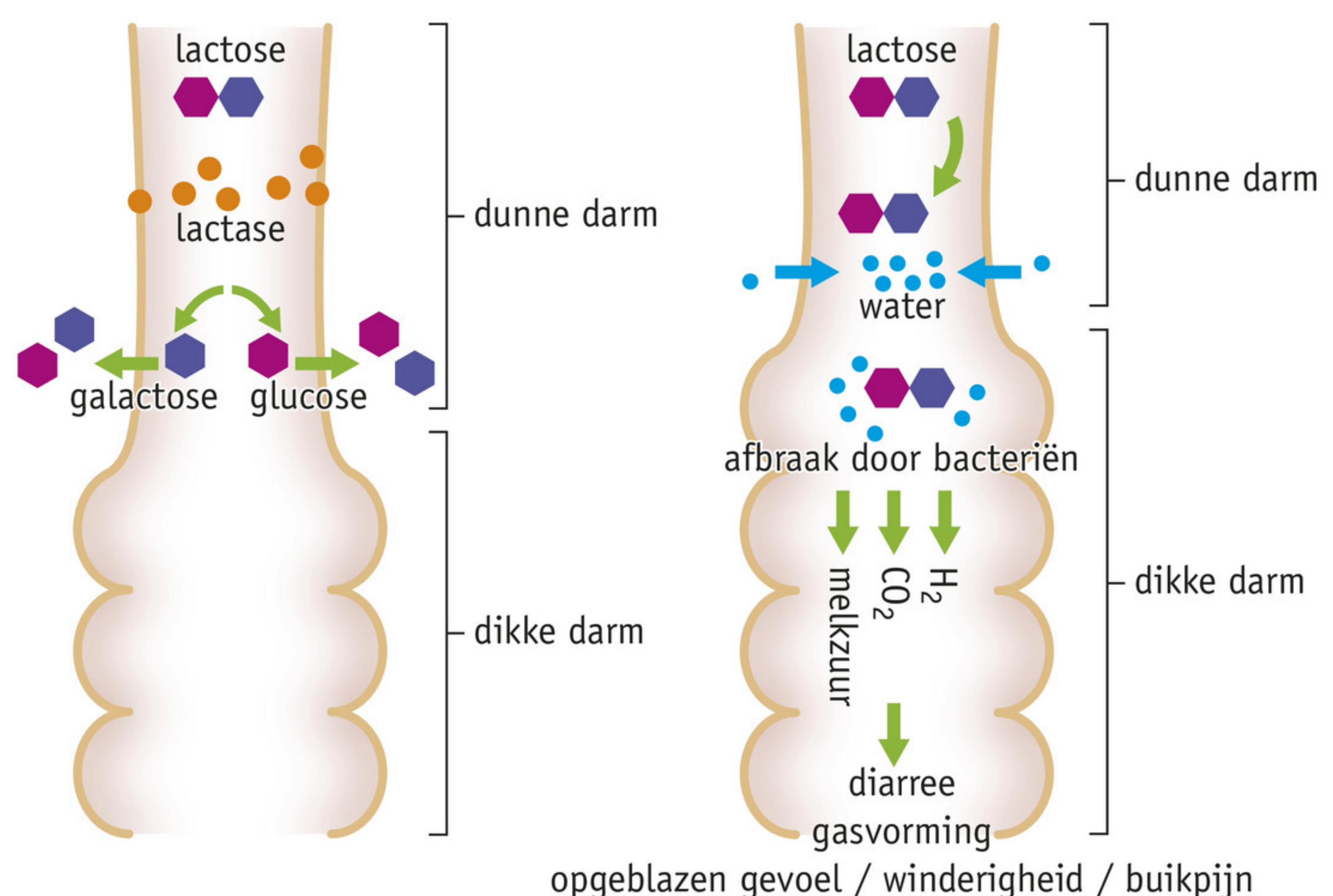
- 19 De productie van maagsap is onder andere afhankelijk van het hormoon gastrine, dat door kliercellen in de maagwand wordt gevormd wanneer de maagwand wordt opgerekt. De productie van gastrine neemt af zodra de pH van de maaginhoud door de afgifte van zoutzuur lager wordt dan 3. In afbeelding 35 is een schema van het regelmechanisme voor de productie van maagsap getekend.
- Vul het schema in.
 - Is bij dit regelmechanisme sprake van positieve terugkoppeling of van negatieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.
 - Waarom is het regelmechanisme van afbeelding 35 nodig?
 - Maagsapklieren scheiden H^+ -ionen, Cl^- -ionen en pepsinogeen af. Leg uit waarom de maagsapklieren geen zoutzuur en pepsine kunnen afscheiden.
 - Uit onderzoek blijkt dat bij mensen die maagzuurremmers gebruiken ongeveer 20% van de darmflora anders van samenstelling is in vergelijking met mensen die geen maagzuurremmers gebruiken. Ook hebben deze mensen een verhoogde kans op darminfecties. Hoe kun je dit verklaren?
- 20 In afbeelding 36 is het verband tussen de pH en de activiteit van pepsine en lipase in een diagram weergegeven. Welk van beide enzymen is het gevoeligst voor veranderingen in de pH? Leg je antwoord uit.
- 21 Kliercellen in de alveesklier (zie afbeelding 37) produceren peptidasen, lipase en andere enzymen en geven die af aan het afvoerkanaal.
- Door welk hormoon kunnen de enzymen uit de alveesklier werkzaam zijn in de twaalfvingerige darm? Leg je antwoord uit.
 - Voorafgaand aan de afgifte van deze enzymen vinden verschillende processen plaats. Enkele van deze processen zijn:
 - afgifte aan het endoplasmatisch reticulum;
 - fusie van endosomen met het celmembraan;
 - afsnoering van blaasjes (endosomen) van het golgisysteem;
 - translatie;
 - transport van het endoplasmatisch reticulum naar het golgisysteem;
 - vorming van mRNA.
 Wat is de juiste volgorde waarin deze processen plaatsvinden?
 - In de twaalfvingerige darm stijgt de pH van de voedselbrij. Welke stoffen veroorzaken in de dunne darm weer een lichte daling van de pH?

► **Afb. 37** Kliercellen in de alvleesklier.



- 22** Bij het grootste deel van de wereldbevolking neemt na het derde levensjaar de productie van lactase in de dunne darm af. Lactose in melkproducten kan dan niet meer worden verteerd. In de dikke darm breken bacteriën van de darmflora de lactose af, waardoor klachten kunnen ontstaan als buikpijn, krampen, diarree, winderigheid en een opgeblazen gevoel (zie afbeelding 38). Dit noem je lactose-intolerantie.
- Diëtisten adviseren jongeren die lactose-intolerant zijn meestal om een lactosebeperkt dieet te volgen. Door helemaal geen melkproducten te eten, kunnen jongeren namelijk te weinig van een belangrijk mineraal binnenkrijgen. Om welk mineraal gaat het?
 - Zure melkproducten (karnemelk, kwark, yoghurt) bevatten bacteriën die lactase produceren. Leg uit waardoor mensen met lactose-intolerantie zure melkproducten vaak beter verdragen.
 - Lactose is een stof die bijdraagt aan een hoge osmotische waarde in de darmen. Hoe kun je dat zien in afbeelding 38.2?
 - Als je wilt weten of je lactose-intolerant bent, kun je dat laten onderzoeken. Je moet dan eerst een bepaalde hoeveelheid lactose innemen. Vervolgens wordt je bloedsuikerspiegel na een bepaalde tijd gemeten. Wanneer je bloedsuikerspiegel niet is gestegen, ben je waarschijnlijk lactose-intolerant. Leg dat uit.

► **Afb. 38** De vertering van lactose.



1 normale vertering

2 vertering bij lactose-intolerantie

- 23 In tegenstelling tot de meeste insecten kan een huisvlieg (*Musca domestica*) geen voedsel verkleinen met kaken. Hij zuigt vloeibaar voedsel op met een slurfachtige zuigsnuit. Op vast voedsel brengt een huisvlieg eerst meerdere keren speeksel aan.
- a Leg uit waarom de huisvlieg dit doet.
 - b Zeesterren hebben een maag met kliercellen. Ze kunnen hun maag uitstulpen en daarmee via een kiertje tussen de kleppen een mossel binnendringen.
Wat moet er vervolgens gebeuren om de voedingsstoffen van de mossel te kunnen opnemen?
 - c De meeste dieren maken geen enzymen aan om cellulose te verteren. Veel planteneters, waaronder konijnen, lossen dit probleem op door samen te leven met micro-organismen die wel cellulase produceren.
Konijnen produceren vooral 's nachts in de blindedarm zachte keutels met veel eiwitten en vitamine B en K. Deze keutels worden door het konijn uitgepoept en weer opgegeten. Na de tweede passage door het darmkanaal worden harde keutels gevormd die het konijn niet meer opeet.
Leg uit wat de voordelen zijn van deze manier van voedselverwerking.

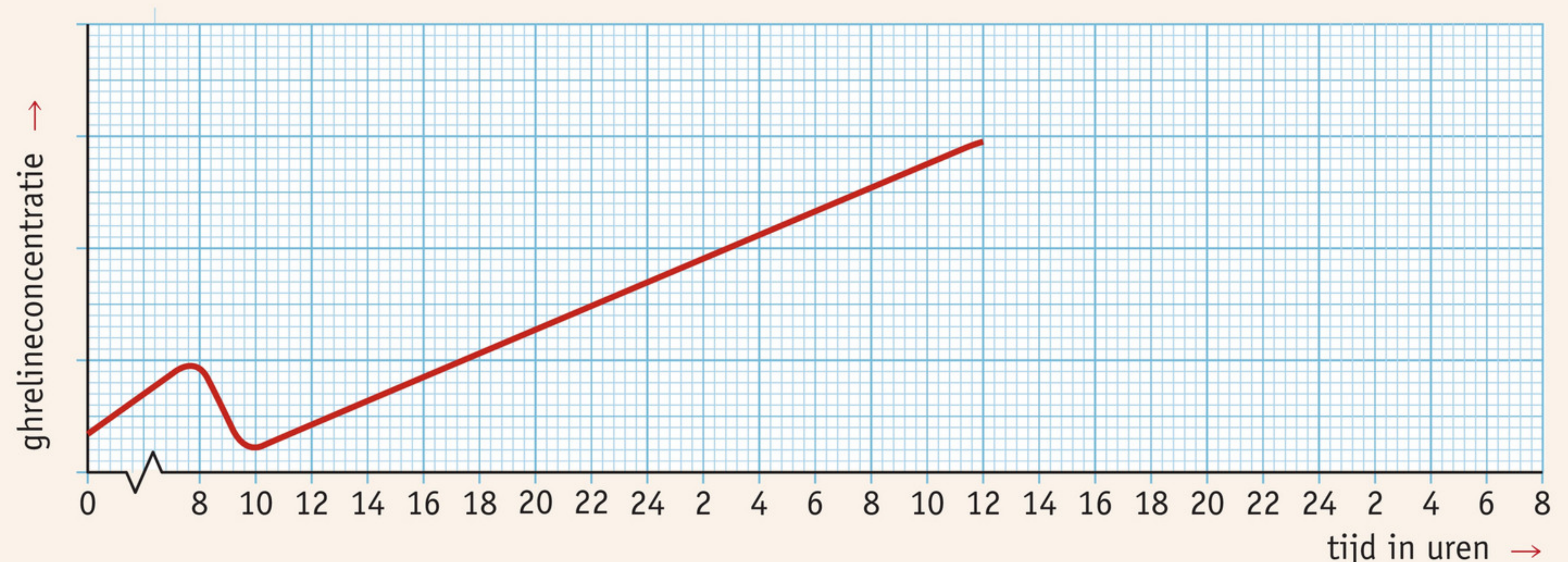
CONTEXT

Leefwereld

Honger maakt impulsief

Neem nooit een belangrijke beslissing als je honger hebt. Het hongers hormoon ghreline heeft namelijk een negatief effect op je besluitvorming en je impulscontrole. Ghreline is het enige bekende hormoon in het verteringsstelsel dat de eetlust opwekt en daardoor de voedselinname bevordert. Het wordt vooral afgescheiden door cellen in de maagwand. De concentratie ghreline neemt 's nachts en vóór een maaltijd toe en na een maaltijd af (zie afbeelding 39). Wanneer ghreline bindt aan ghrelinereceptoren, versturen die signalen naar de hypothalamus. De hypothalamus zorgt voor het hongergevoel en bereidt het lichaam voor op het voedsel dat komen gaat. Dat merk je aan een verhoogde speekselafscheiding en een toename van de darmperistaltiek. Ghreline blijkt ook invloed te hebben op andere delen van de hersenen. Bij een verhoogde concentratie ghreline is het daardoor lastig om een behoefte uit te stellen of een reactie te onderdrukken. Je gaat dan sneller over tot een impulsieve keuze of een impulsieve actie.

► **Afb. 39** Het verloop van de ghrelineconcentratie.



opdracht

- 24 a** Zal de ghrelinesecretie na een maagverkleining dalen of stijgen? Leg je antwoord uit.
- b** Het eten van gemberwortel blijkt de eetlust te vergroten. Welke invloed heeft het eten van gemberwortel op de ghrelineproductie? Leg je antwoord uit.
- c** Uit onderzoek is gebleken dat je beter geen boodschappen kunt doen als je honger hebt. Je koopt dan niet alleen meer eten, maar ook niet-eetbare producten belanden gemakkelijker in je mandje. Hoe komt dat?
- d** In afbeelding 39 is een grafiek getekend waarin wordt aangegeven hoe de ghrelineconcentratie verandert als iemand 27 uur lang niet eet. Neem de grafiek over en geef het verdere verloop van de ghrelineconcentratie weer, als de proefpersoon met de lunch van dag 2 (13.00 uur) weer normaal gaat eten, om 18.00 uur zijn avondeten gebruikt en op dag 3 weer normaal ontbijt.
- e** Een stof in cannabis kan een intens hongergevoel (vreetkick) veroorzaken bij een cannabisgebruiker, ook wanneer die een gevulde maag heeft. Leg uit hoe dat mogelijk is.

Leerdoel

- Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

4 Resorptie

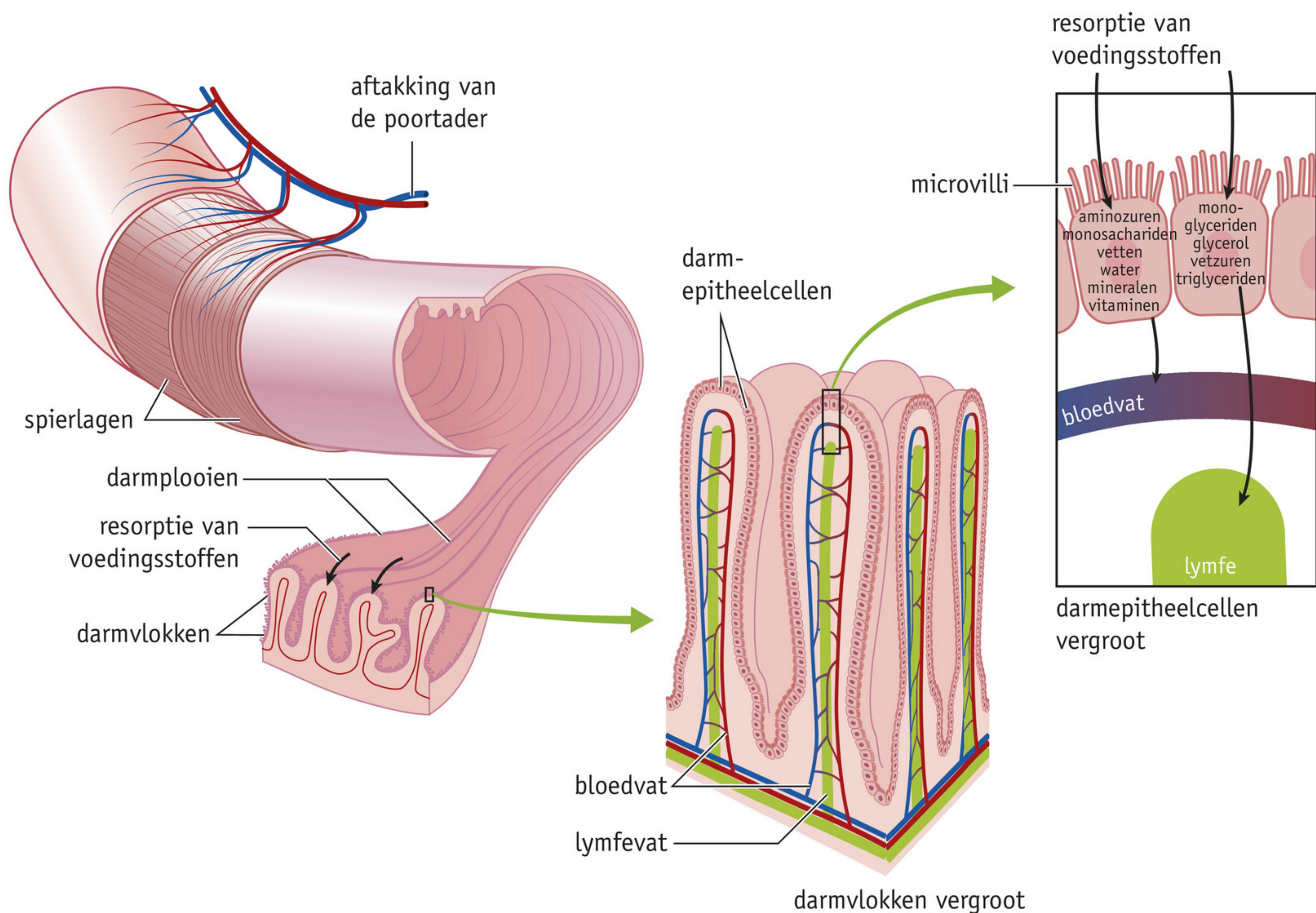
Een maaltijd doet er 24 tot 30 uur over om vanuit je mond je anus te bereiken. Vloeibaar voedsel passeert het darmkanaal sneller dan vast voedsel. De voedselbrij verblijft het langst in de dikke darm en de endeldarm.

DE DUNNE DARM

Na de twaalfvingerige darm komt de voedselbrij in de **dunne darm**. Hier worden de voedingsstoffen opgenomen in het bloed. Opname van voedingsstoffen vindt ook plaats in andere delen van het verteringsstelsel. De opname van alcohol begint bijvoorbeeld al in de mond en in de maag. De opname van de meeste voedingsstoffen vindt echter plaats in de dunne darm.

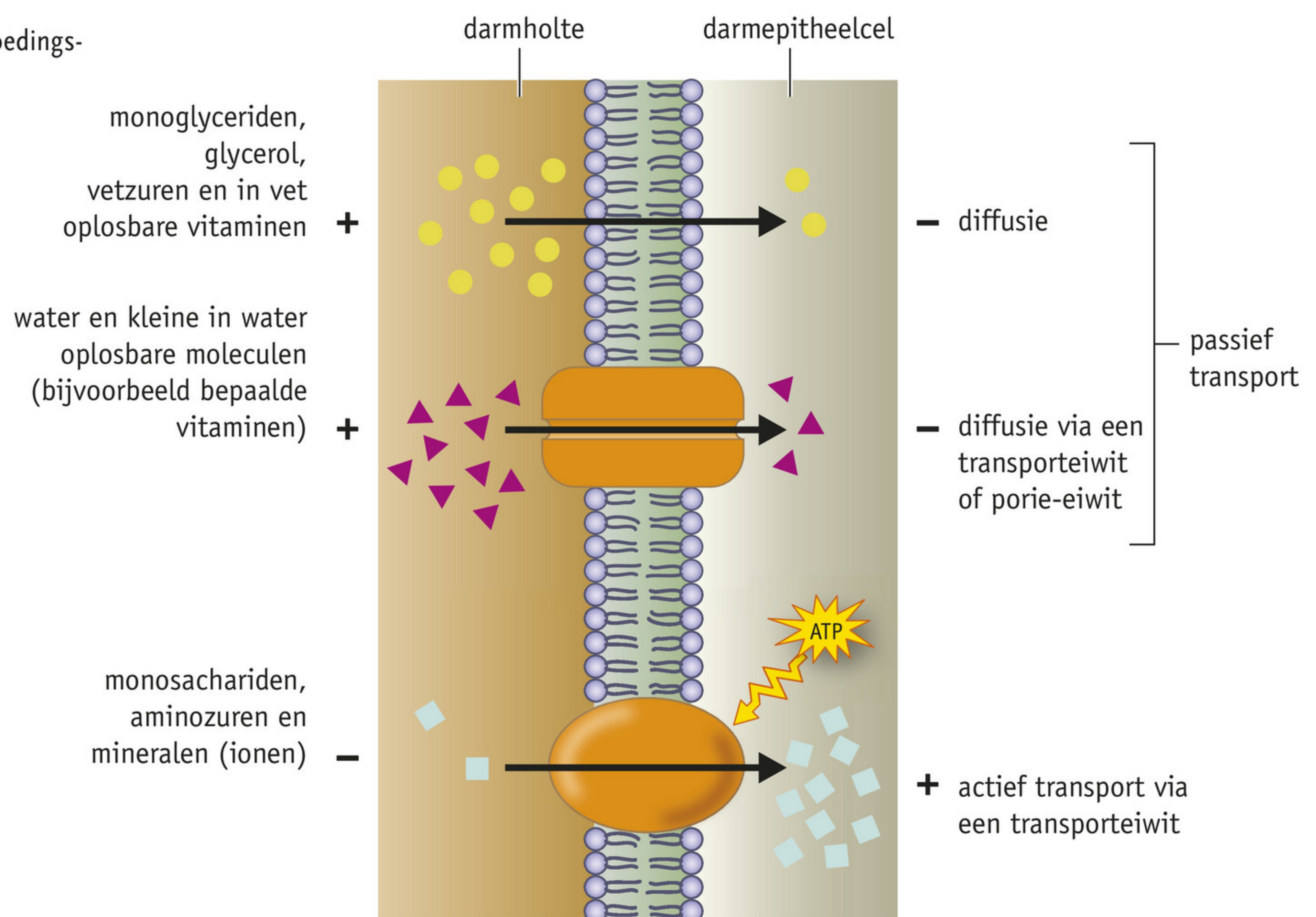
De dunne darm van een volwassen persoon is ongeveer 6 m lang. De wand is sterk geplooid (zie afbeelding 40). Op de **darmplooiën** bevinden zich uitstulpingen: de **darmvlokken** (**villi**, enkelvoud: villus). De buitenste laag cellen van de darmvlokken is het **darmepitheel** (darmdekweefsel). De cellen van het darmepitheel hebben een groot aantal microscopisch kleine uitstulpingen: de **microvilli**. Door de darmplooiën, de darmvlokken en de microvilli is het oppervlak voor de opname van stoffen zeer groot.

▼ **Afb. 40** De bouw van de dunne darm (schematisch).

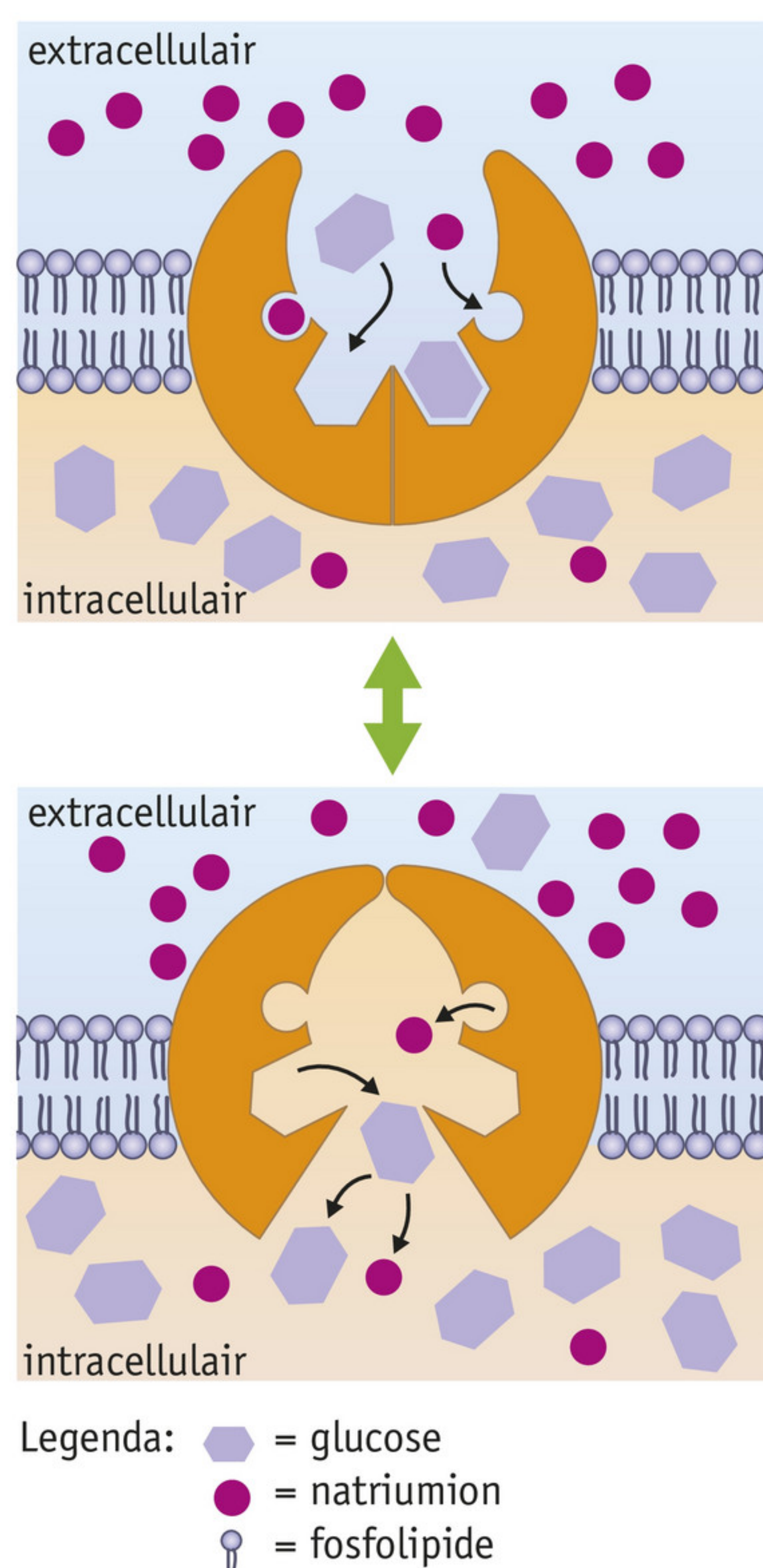


De cellen van het darmepitheel nemen water, voedingsstoffen en verteringsproducten op uit de voedselbrij. Darmvlokken bevatten bloedvaten en lymfevaten. De opname van stoffen via de darmwand in het bloed en de lymfe noem je **resorptie** (Latijn: resorbere = opzuigen). Voor resorptie is energie nodig.

► **Afb. 41** De opname van voedingsstoffen in darmepitheel.



▼ **Afb. 42** Transport van glucose en Na^+ -ionen door een transporteiwit.

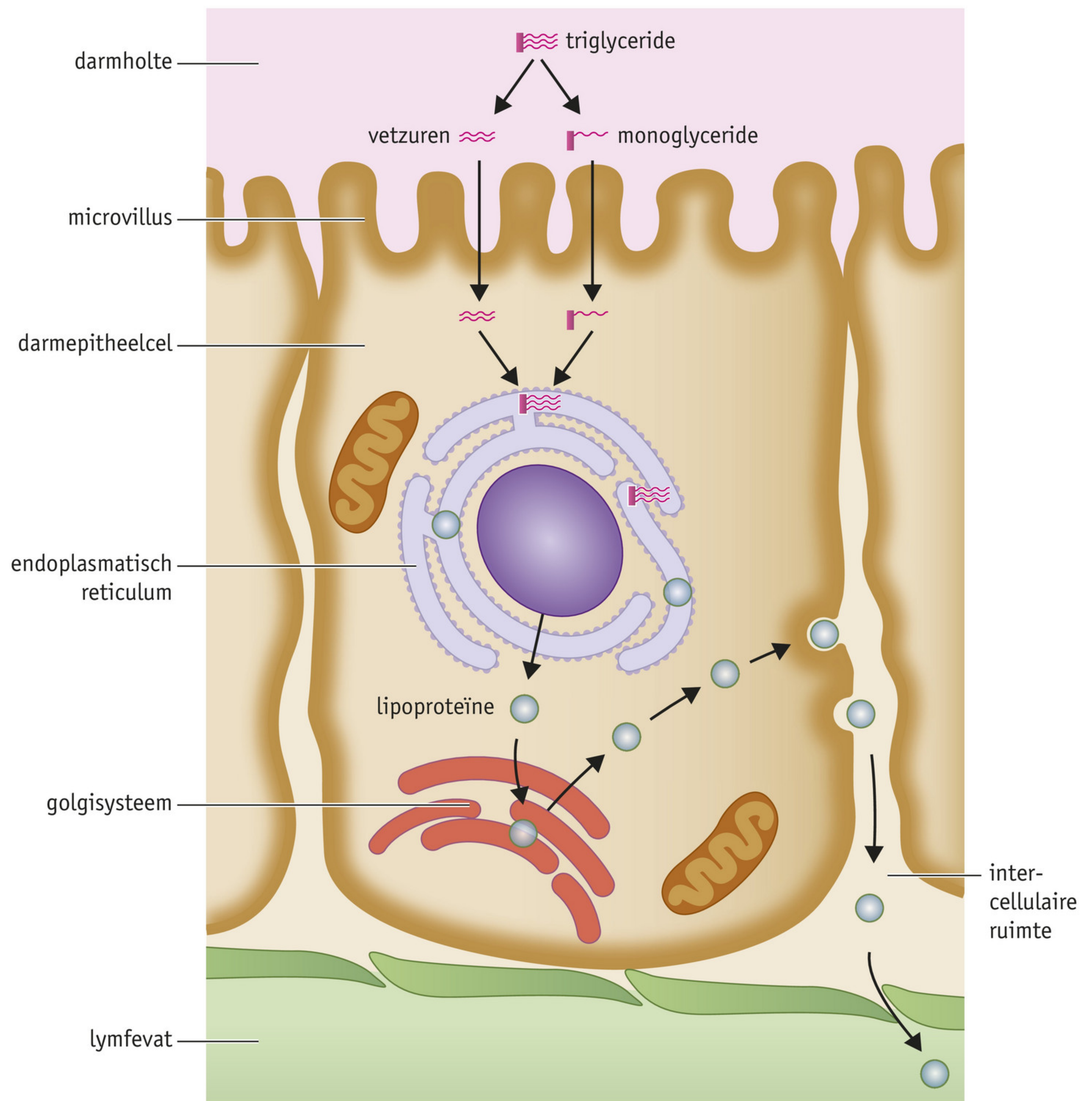


In de cellen van het darmepitheel vindt daardoor intensieve dissimilatie plaats. De opname van stoffen door de darmepitheelcellen vindt plaats door diffusie via de fosfolipiden, porie-eiwitten of transporteiwitten in het celmembraan en door **actief transport** via transporteiwitten (zie afbeelding 41). Door actief transport kunnen de cellen stoffen selectief opnemen uit de voedselbrij, ook tegen het concentratieverval in. Stoffen gaan dan via transporteiwitten in het membraan van een lage concentratie in de darmholte naar een hoge concentratie in de darmepitheelcellen. De energie die nodig is voor actief transport, komt uit de omzetting van ATP.

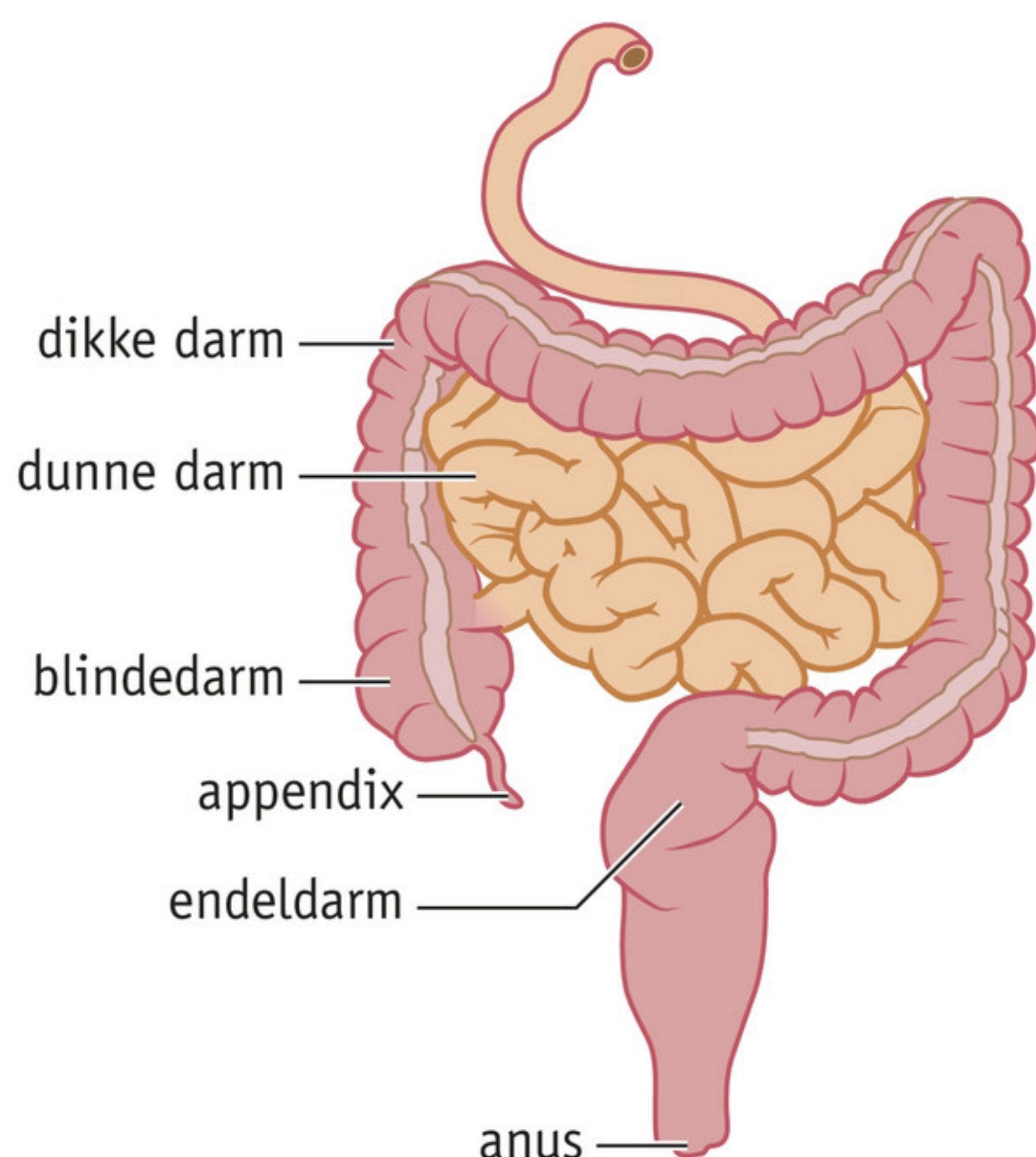
In afbeelding 42 is het transport van glucose en Na^+ -ionen weergegeven. Het transporteiwit kan twee vormen aannemen: met de bindingsplaatsen gericht naar de darmholte en met de bindingsplaatsen gericht naar het cytoplasma van de darmepitheelcel. Aan de buitenzijde van de cel binden glucosemoleculen en Na^+ -ionen aan het transporteiwit. Zodra alle bindingsplaatsen bezet zijn, verandert het transporteiwit van vorm en worden de glucosemoleculen en Na^+ -ionen aan de binnenzijde van de cel afgegeven. De drijvende kracht achter dit proces is de natrium-kaliumpomp, die voortdurend Na^+ -ionen vanuit de cel in de extracellulaire ruimte pompt. De energie hiervoor wordt geleverd door ATP. Aminozuren en andere ionen dan Na^+ worden op een vergelijkbare manier getransporteerd. Door actief transport van ionen ontstaat er een verschil in osmotische waarde tussen de darmholte en de darmepitheelcellen. Hierdoor gaat het grootste deel van het water in de voedselbrij door osmose via aquaporines (waterkanaaltjes) van de darmholte naar de darmepitheelcellen.

De meeste stoffen worden uit de darmepitheelcellen opgenomen in het bloed. De haarvaten van een groot deel van het darmkanaal (van de maag tot en met de dikke darm) verenigen zich tot één afvoerend bloedvat: de **poortader**. Hierdoor stroomt bloed naar de lever.

► **Afb. 43** Resorptie van vetten.



▼ **Afb. 44** De ligging van dunne darm, blindedarm met appendix, dikke darm en endeldarm met anus (schematisch).



Uit de monoglyceriden, vetzuren en de glycerol die darmepitheelcellen opnemen, worden in de cel weer triglyceriden gevormd (zie afbeelding 43). Om deze vetten te kunnen transporteren in een waterige omgeving worden ze omgeven door een manteltje van fosfolipiden en eiwitten. Deze **lipoproteïnen** worden afgegeven aan de intercellulaire ruimten tussen de darmepitheelcellen en vervolgens opgenomen in de lymfevaten. De lymfevaten verenigen zich tot een groot lymfevat dat uitmondt in een ader onder het sleutelbeen.

DE DIKKE DARM EN DE ENDELDARM

De onverteerde voedselresten komen terecht in de **dikke darm**. De dikke darm is ongeveer 1,5 m lang. In de dikke darm wordt veel van het nog resterende water uit de brij van onverteerde voedselresten geresorbeerd. Dat is nodig, omdat je anders te veel vocht verliest en uitdroogt. Ook mineralen worden in de dikke darm geresorbeerd.

Vlak onder de overgang van dunne darm naar dikke darm ligt de **blindedarm** (zie afbeelding 44). Aan de onderkant van de blindedarm zit een uitstulping: de **appendix** (het wormvormig aanhangsel). Bij 'blindedarmontsteking' is niet de

blindedarm ontstoken, maar de appendix. Deze wordt dan operatief verwijderd. De blindedarm blijft zitten. In de dikke darm leven veel darmbacteriën: de **darmflora**. Sommige darmbacteriën produceren enzymen voor de vertering van stoffen die niet door de verteringsenzymen van de mens worden verteerd, zoals het enzym **cellulase** voor de vertering van cellulose. Andere soorten produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, zoals vitaminen. Een voorbeeld daarvan is vitamine K.

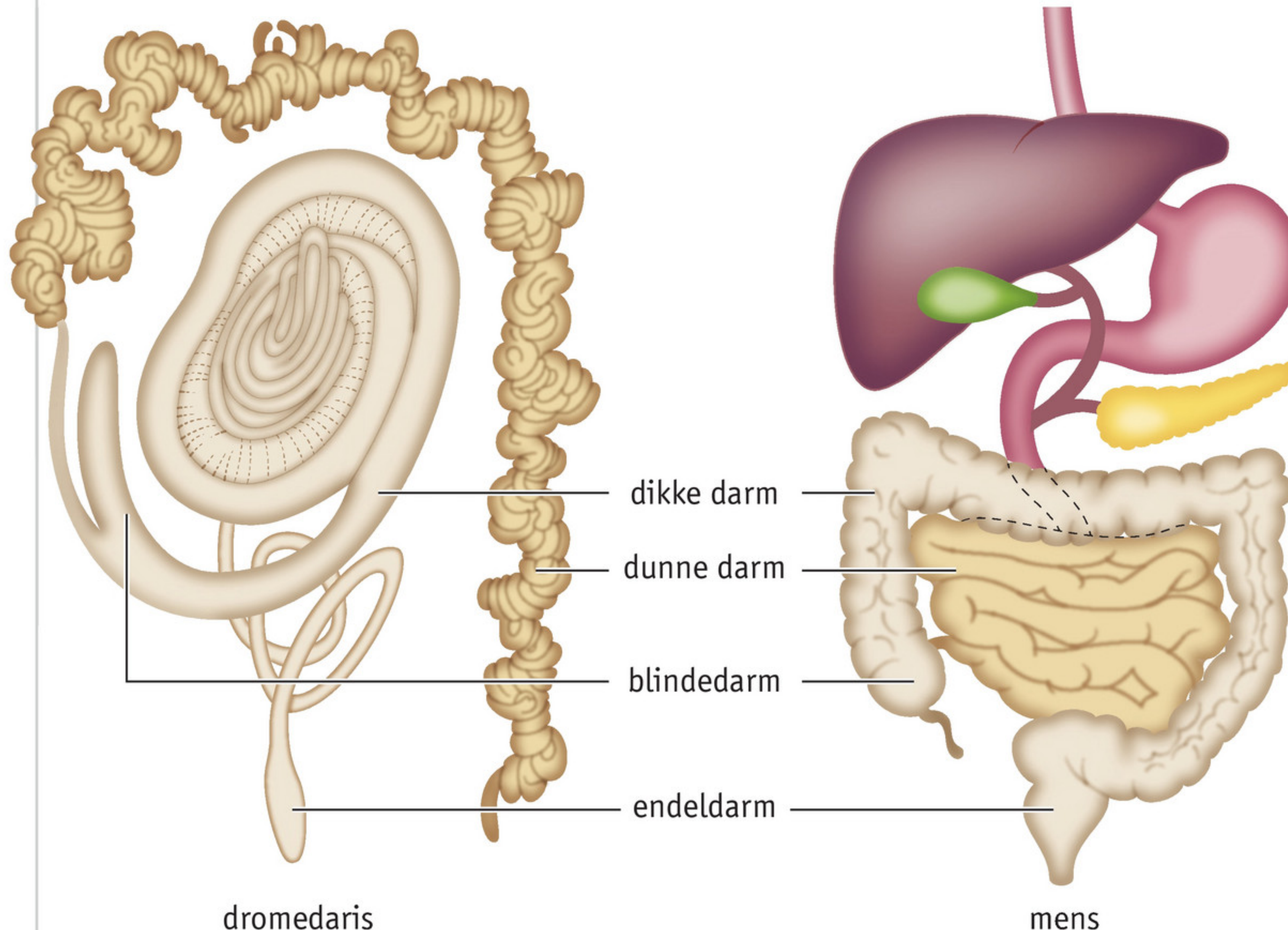
De onverteerde voedselresten worden verzameld in de **endeldarm**. Ook in de endeldarm vindt nog resorptie van stoffen plaats. Hiervan wordt gebruikgemaakt bij het toedienen van medicijnen in zetpillen: het bloed uit de haarvaten van de endeldarm komt niet in de poortader terecht en stroomt dus niet rechtstreeks naar de lever. De endeldarm wordt afgesloten door een kringspier: de **anus**. De **ontlasting (feces)** bestaat uit onverteerde voedselresten, water en zeer veel bacteriën.

opdrachten

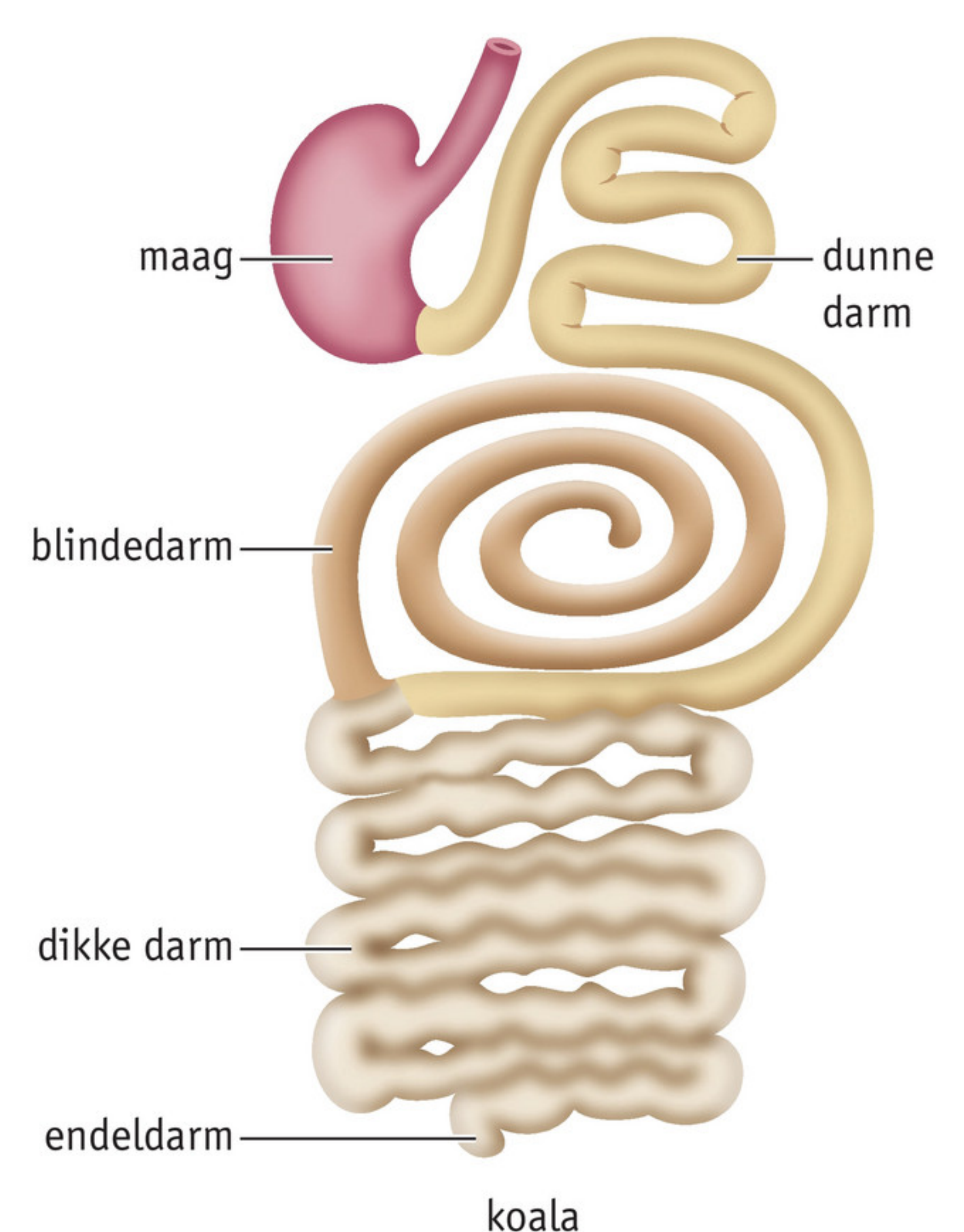
- 25** Bij het toedienen van sommige medicijnen is het belangrijk dat deze medicijnen niet direct in de lever terechtkomen.
- a** Leg uit dat toediening in de vorm van zetpillen dan een goede oplossing is.
 - b** Via dood darmepitheel vindt geen resorptie plaats. Wat kun je hieruit afleiden?
 - c** Welke cellen bevatten de meeste mitochondriën: epitheelcellen van de slokdarm of epitheelcellen van de dunne darm? Leg je antwoord uit.
 - d** Opname van alcohol vindt plaats in een groot deel van het darmkanaal. Waardoor is de opname in de dunne darm het grootst?
- 26** Diarree gaat vaak gepaard met buikkrampen.
- a** Waardoor worden de buikkrampen veroorzaakt?
 - b** Diarree kan ontstaan door de aanwezigheid van virussen of bacteriën in het darmkanaal. Bij ernstige vormen van diarree (bijvoorbeeld bij cholera) kan het verlies aan Na^+ -ionen en het daarmee gepaard gaande vochtverlies levensbedreigend zijn. Om uitdroging te voorkomen kan de patiënt ORS (oral rehydration solution) drinken. ORS bevat glucose, NaCl, trinitriumcitraat en KCl. Door inname van ORS neemt de Na^+ -ionenconcentratie toe. Leg uit welk effect dit heeft op de opname van glucose door het darmepitheel.
 - c** In de celmembranen van cellen van het darmepitheel bevinden zich ook transporteiwitten voor het transport van Na^+ -ionen en aminozuren. Hiervan wordt gebruikgemaakt bij de toediening van een ander type ORS, waaraan het aminozuur alanine wordt toegevoegd. Hierdoor is de energiewaarde van de oplossing hoger dan die van standaard-ORS. Dat de energiewaarde wordt verhoogd met een aminozuur en niet met glucose, heeft verschillende redenen. Drie leerlingen doen hierover een uitspraak. Mabel zegt dat door een hogere glucoseconcentratie in de darm het waterverlies van het lichaam kan toenemen. Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.
 - d** Pien zegt dat door alanine de osmotische waarde van het weefselvocht wordt verlaagd, terwijl die door glucose wordt verhoogd. Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.
 - e** Ahlam zegt dat er door gebruik van transporteiwitten voor zowel glucose als voor aminozuren per tijdseenheid meer Na^+ -ionen kunnen worden opgenomen. Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.

- 27 In de celwanden van plantaardige cellen komt cellulose voor. Mensen maken voor deze polysacharide geen verteringsenzymen aan. Hierdoor is de celinhoud van plantaardige cellen niet bereikbaar voor verteringsenzymen.
- Leg uit dat je plantaardig voedsel gemakkelijker verteerbaar maakt als je het kookt.
 - Bij zoogdieren zijn op grond van de voedselkeuze onder andere herbivoren (planteneters) en carnivoren (vleeseters) te onderscheiden. Herbivoren leven voor hun spijsvertering samen met cellulasevormende micro-organismen. Desondanks gaat de vertering van cellulose uit de celwanden van plantaardige cellen langzaam. Bij welke groep dieren zal het darmkanaal in verhouding tot de lichaamslengte het langst zijn? Leg je antwoord uit.
 - Koeien hebben bacteriën in hun pens. Deze bacteriën verteren gras en maken vetzuren vrij die de koe opneemt. Door deling komen er steeds nieuwe bacteriën. Een deel stroomt met de voedselbrij door naar de volgende magen en wordt daar verteerd. Een ander deel dient als voedsel voor een andere groep micro-organismen in de pens: eencellige wimperdiertjes. Zij vormen ruim 10% van de pensinhoud en zijn de voornaamste goed verteerbare voedselbron voor de koe. Bij een paard leven de bacteriën die cellulose verteren in de blindedarm. Ze worden uitgescheiden met de ontlasting. Leg uit wat het nadeel hiervan is.
- 28 In afbeelding 45 en 46 zie je de verteringsstelsels van een dromedaris en een mens, en van een koala.
- Welke aanpassingen van het verteringsstelsel van de dromedaris beperken het vochtverlies via de uitwerpselen tot een minimum?
 - De blindedarm en de dikke darm van een koala bevatten micro-organismen die cellulase aanmaken. Een koala verkrijgt bijna al zijn voedingsstoffen (inclusief water) uit eucalyptusbladeren. Leg uit hoe dat mogelijk is.

▼ **Afb. 45** Verteringsstelsel van een dromedaris en de mens.



▼ **Afb. 46** Verteringsstelsel van een koala.

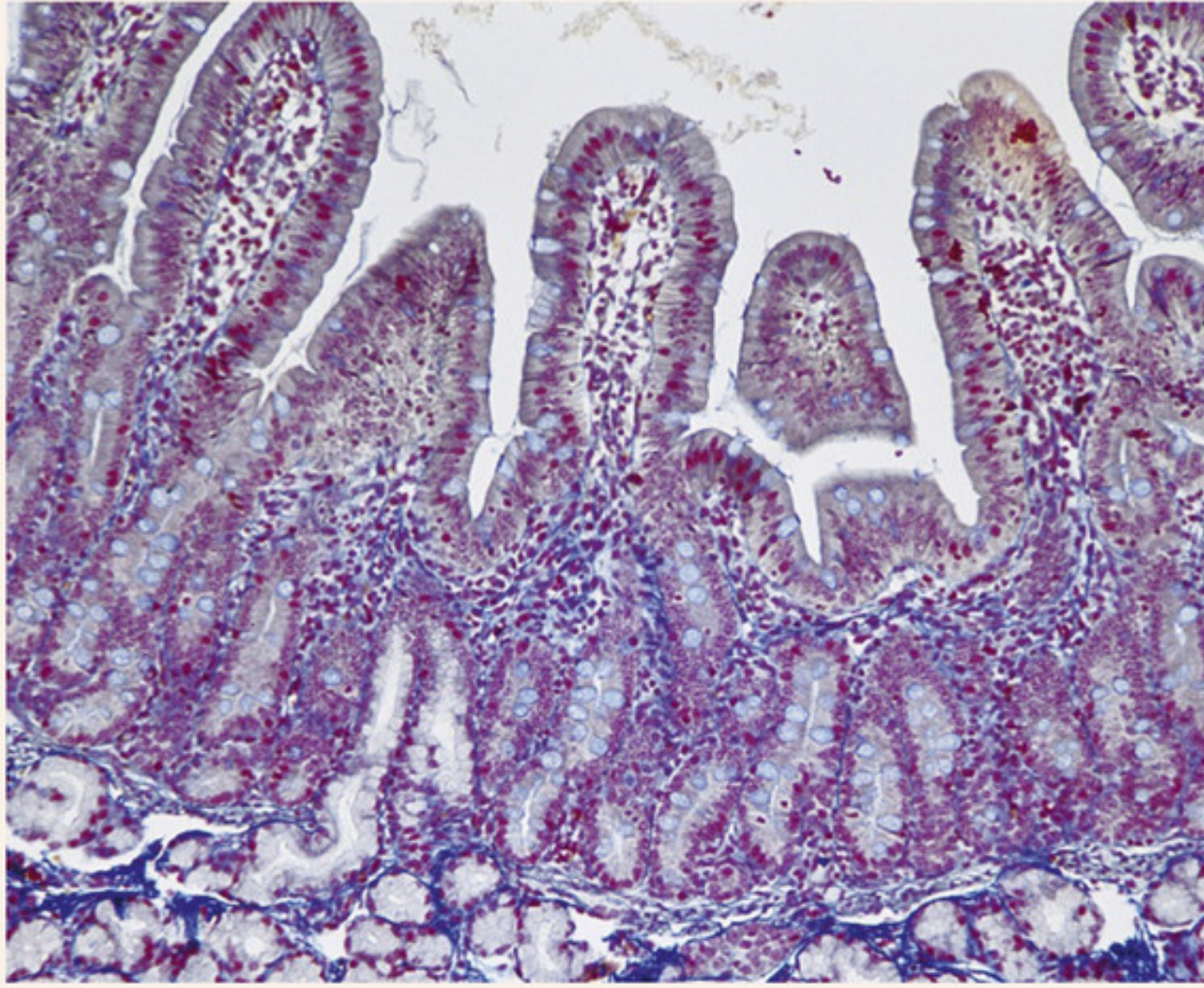


CONTEXT

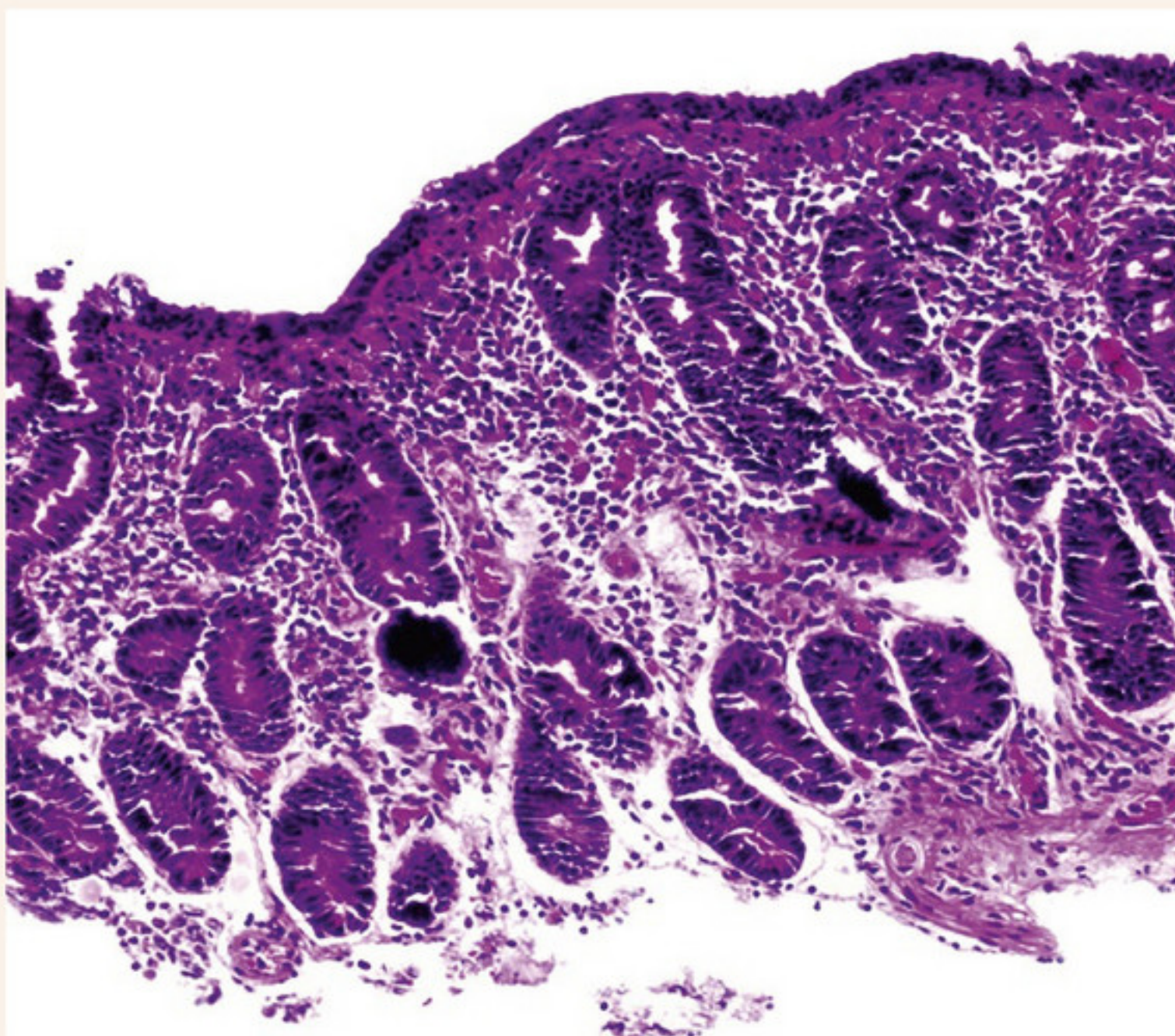
Leefwereld

Glutenintolerantie (coeliakie)

▼ Afb. 47 Darmwand.



1 stukje darmwand van een gezonde persoon



2 stukje darmwand van een coeliakiepatiënt

Gluten zijn eiwitten die van nature voorkomen in veel soorten granen, zoals tarwe, rogge, gerst en spelt. Gluten komen daardoor ook voor in de voedingsmiddelen waarin deze granen zijn verwerkt, bijvoorbeeld brood, crackers, pizza, pasta, paneermeel en koek. Maar ook in soep, snoep en ijs kunnen gluten voorkomen.

Voedsel met gluten zorgt bij mensen met glutenintolerantie (coeliakie) voor ontstekingen van de wand van de dunne darm, waardoor de darm zijn werk niet goed kan doen. Een gezonde dunne darm heeft aan de binnenkant darmvlokken en darmvlokken. Bij iemand met coeliakie gaan de darmvlokken kapot door de ontstekingen.

Wanneer mensen spreken over een glutenallergie, bedoelen ze vaak coeliakie. De ziekteverschijnselen lopen bij coeliakie behoorlijk uiteen. Je kunt bijvoorbeeld last hebben van diarree, verstopping, een opgezette buik, gewichtsverlies, overgewicht, depressie, bloedarmoede en botontkalking.

Door een glutenvrij dieet kan de dunne darm herstellen van coeliakie. Dit dieet moet je levenslang volgen. Elk spoortje van gluten in voeding kan de dunne darm opnieuw beschadigen.

opdracht

- 29 Om te onderzoeken of er bij mensen met ernstige darmklachten sprake is van glutenintolerantie, wordt met behulp van een endoscoop een stukje dunne darm verwijderd en microscopisch onderzocht. In afbeelding 47 is een stukje dunne darm van een gezonde persoon en van een coeliakiepatiënt weergegeven.
 - a Behoren alle cellen in afbeelding 47.1 tot één weefseltype of tot meerdere weefseltypen? Leg je antwoord uit.
 - b Wat is het verschil tussen het oppervlak van de dunne darm van een gezonde persoon en van een coeliakiepatiënt?
 - c Welke gevolgen heeft dit voor de gezondheid van de patiënt? Leg je antwoord uit.
 - d Mensen met een glutenvrij dieet wordt geadviseerd om bakkerszout met extra jodium te gebruiken als zij zelf hun brood bakken. Bij een tekort aan jodium in het voedsel wordt er onvoldoende thyroxine geproduceerd. Als er lange tijd een tekort aan jodium is, zal het hormoonstelsel proberen dit tekort te compenseren.
Hoe reageert de hypofyse op een tekort aan jodium en wat is daarvan het gevolg?

Leerdoel

- Je kunt beargumenteren wat gezonde voeding is en wat de gezondheidsrisico's zijn van ongezonde of van te veel voeding.

5 Gezonde voeding

Sinds we genoeg voedsel hebben en infectieziekten kunnen voorkomen, worden we wel ouder maar niet per se gezonder. Het aantal welvaartsziekten stijgt. Onze verre voorouders kenden deze ziekten niet.

GEZOND ETEN

Door gezond te eten verklein je het risico op welvaartsziekten zoals hart- en vaatziekten, diabetes en kanker. Gezond eten voorkomt ook de risicofactoren voor het ontstaan van deze ziekten, zoals hoge bloeddruk, een hoog cholesterolgehalte en overgewicht. Maar wat echt gezond eten is, weten voedingsdeskundigen nog altijd niet precies. Het Voedingscentrum geeft adviezen over gezonde voeding en informatie over voedingsstoffen, voedingsmiddelen en voedingspatronen in relatie tot gezondheid. Als hulpmiddel is hiervoor de Schijf van Vijf samengesteld (zie afbeelding 48).

▼ **Afb. 48** De Schijf van Vijf.

Wat moet je eten uit de vakken?

Vak dranken

Drink voldoende water om de vochtbalans van je lichaam gezond te houden.

Vak brood, graanproducten en aardappelen

Eet elke dag voldoende volkorenbrood, graanproducten en aardappelen.

Vak groente en fruit

Eet elke dag ten minste 250 gram groente en 2 porties fruit (200 gram).

Vak smeer- en bereidingsvetten

Vet is niet alleen nodig als bouw- en brandstof, maar levert ook vitaminen A, D en E. Kies onverzadigde vetten in zachte margarine en olie.

Vak vis, peulvruchten, vlees, ei, noten en zuivel

Wissel dierlijke en plantaardige eiwitten af. Vervang vlees door (vette) vis, peulvruchten of ei. Neem elke dag zuivel en wat ongezouten ongebrande, gebrande of geroosterde noten.



Als je eet volgens de Schijf van Vijf, krijg je de optimale combinatie van voedingsstoffen binnen. Uit de grotere vakken moet je meer voedingsmiddelen kiezen dan uit de kleinere vakken. De grote vakken bevatten plantaardige voedingsmiddelen. Voedingsmiddelen die niet voorkomen in de Schijf van Vijf, kun je beter niet of niet te vaak eten. Deze voedingsmiddelen bevatten bijvoorbeeld te veel zout, suiker, verzadigd vet of te weinig vezels en hebben daardoor een negatief effect op je gezondheid.

De hoeveelheid voedsel die je nodig hebt, is vooral afhankelijk van je energiebehoefte. De energiebehoefte in rust (de basale stofwisseling) hangt onder andere af van je geslacht, leeftijd en lichaamsgewicht en de omgevingstemperatuur. Als je actief bent, is de energiebehoefte afhankelijk van de lichamelijke inspanning die je verricht.

VERLEIDINGEN

Gezondheidsorganisaties zoals het Voedingscentrum adviseren om vooral onbewerkt, vers en plantaardig voedsel te eten. Het assortiment voedingsmiddelen in winkels bestaat echter voor een groot deel uit sterk bewerkt voedsel: voedingsmiddelen met veel kleurstoffen, smaakstoffen, geurstoffen, suiker, verzadigd vet en zout, en weinig mineralen, vitaminen en vezels. Veel mensen vinden deze voedingsmiddelen lekker, waardoor ze geneigd zijn er veel van te eten of drinken. Deze voedingsmiddelen zijn bovendien overal verkrijgbaar, waardoor je continu in de verleiding komt. Wanneer je deze sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, krijg je veel suiker en verzadigd vet binnen. Sterk bewerkte voedingsmiddelen dragen hierdoor bij aan het ontstaan van welvaartsziekten zoals obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten.

opdrachten

- 30** Palmolie komt uit het vruchtvlees of zaad van de palmvrucht en wordt gebruikt in heel veel voedingsmiddelen, zoals margarine, ijs, chocolade en kant-en-klaarmaaltijden. Palmolie staat niet in de Schijf van Vijf.
- Bekijk afbeelding 48 en 49 en leg uit waarom palmolie niet in de Schijf van Vijf staat.
 - Uit welke vakken in de Schijf van Vijf leveren de voedingsmiddelen onder andere koolhydraten en voedingsvezels?
 - Uit welke vakken moet je voedingsmiddelen gebruiken om voedingsstoffen binnen te krijgen die bijdragen aan de botopbouw?

▼ **Afb. 49** De voedingswaarden van olijfolie en palmolie.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Koolhy- draten	Suikers	Vet	Verza- digd vet	E.o.v.	M.o.v.	Choles- terol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Olijfolie	883	3696	0,0	0,0	0,2	0,0	99,8	14,5	75,5	9,5	0,0	0,0
Palmolie	874	3659	0,0	0,0	0,0	0,0	98,9	48,5	38,5	11,0	0,0	0,0

- 31 a** Noem drie processen in je lichaam waarvoor altijd energie nodig is, omdat ze deel uitmaken van het basale metabolisme.
- b** De energiebehoefte van meisjes neemt gemiddeld vanaf het 16e levensjaar vrijwel niet meer toe, die van jongens wel. Leg uit waarmee dat samenhangt.
- 32** Op de ingrediëntenlijst van een verpakt voedingsmiddel staat het ingrediënt dat er het meest in voorkomt als eerste vermeld. Daarna het ingrediënt dat er dan het meest in voorkomt, enzovoort.
- Noteer van tien verpakte tussendoortjes (eten of drinken) uit de schoolkantine of suiker bij de eerste drie ingrediënten staat.
 - Welke conclusie kun je trekken uit je onderzoek?

- c De Nederlandse regering gelooft in zelfregulering: de voedingsindustrie zorgt ervoor dat de voedingsmiddelen die zij produceren gezond zijn. De Nederlandse Vereniging Frisdranken, Waters en Sappen (FWS) steunt het Akkoord 'Gezonde Voeding op Scholen'. De vereniging wil helpen een gezonde keuze te maken. Vanaf eind 2018 verkopen ze daarom geen suikerhoudende frisdranken meer op middelbare scholen, maar alleen nog lightdranken, frisdranken met weinig calorieën en water. Vind je dit een goed besluit van de producenten? Leg je antwoord uit.
- d Vind jij dat de verkoop van sterk bewerkte tussendoortjes op scholen moet worden verboden om het ontstaan van welvaartsziekten te voorkomen? Leg je antwoord uit.
- e Een eenzijdig dieet kan leiden tot gebreksziekten. Zoals bij de student die alleen maar pizza's at en daardoor scheurbuik kreeg (zie opdracht 8e). Zou jou dit kunnen overkomen? Verklaar je antwoord.

EEN GEZOND GEWICHT

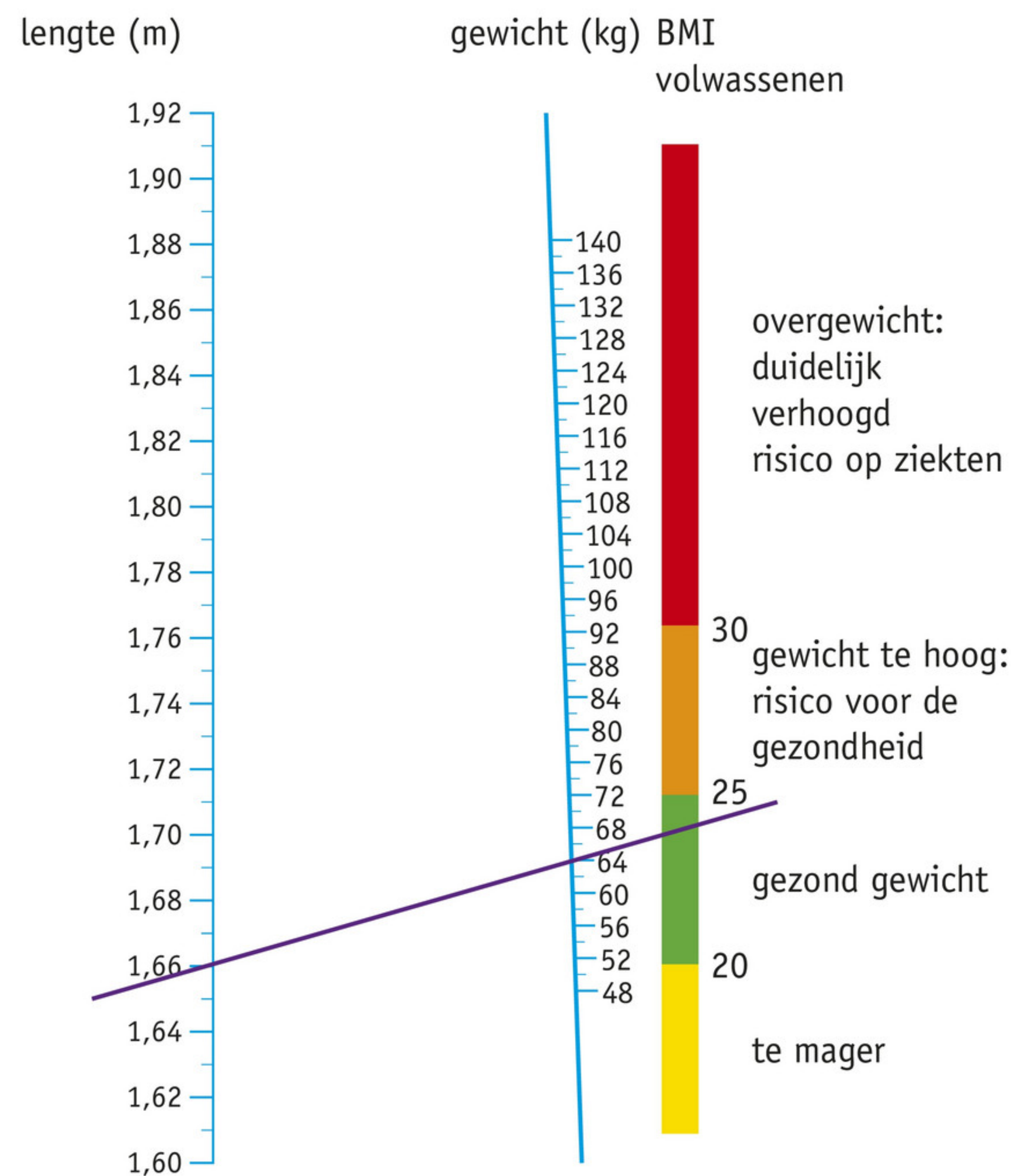
Als je via je voeding regelmatig meer energie binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je zwaarder en dikker worden. Dat komt doordat je een teveel aan vet opslaat in het onderhuidse bindweefsel en rondom organen in je buik (buikvet). De voornaamste functie van dit vetweefsel is de opslag van energie. Het dient ook als isolatie en bescherming en ondersteuning van organen. Te veel buikvet vergroot het risico op aandoeningen als hart- en vaatziekten, hoge bloeddruk, diabetes type 2 en kanker. Volwassen vrouwen hebben te veel buikvet wanneer hun tailleomvang groter is dan 80 cm. Bij mannen wordt de grens overschreden bij 94 cm. Ook als je via je voeding minder energie en voedingsstoffen binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je ziek worden.

Met de Body Mass Index (BMI) kun je bepalen of je een gezond gewicht hebt (zie afbeelding 50). De BMI is bedoeld voor volwassenen en is een maat voor het gewicht in verhouding tot de lichaamslengte. Er wordt geen rekening gehouden met de verhouding van vet-, spier- en botweefsel. De BMI-meting is daardoor alleen betrouwbaar wanneer je een gemiddelde lichaamsbouw hebt. Volwassenen met een BMI tussen de 20 en 25 hebben een gezond gewicht. Als je BMI te hoog of te laag is, heb je meer risico op ziekten.

Je kunt overgewicht kwijtraken als je met je voedsel minder energie binnenkrijgt dan je verbruikt.

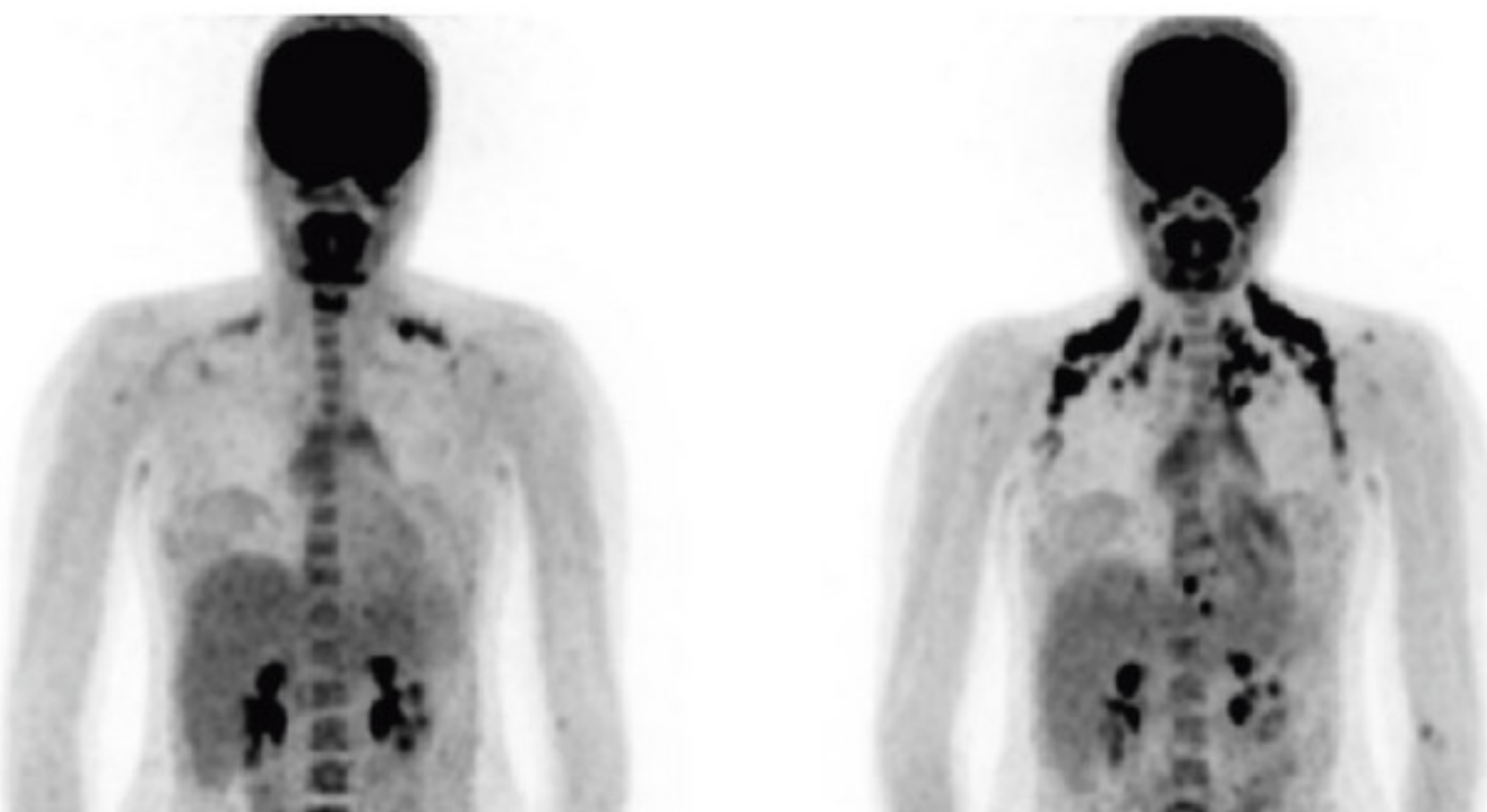
Het is niet verstandig om zomaar minder te gaan eten. Je moet immers wel elke dag voldoende voedingsstoffen binnenkrijgen om gezond te blijven. Beter is het om producten te kiezen met een gezondere samenstelling, tussendoortjes te laten staan en meer te bewegen om af te vallen. Wanneer je veel kilo's kwijt wilt, kun je je het best laten adviseren door een diëtist. Dat geldt ook als je ondergewicht hebt en wilt aankomen.

►► PRACTICUMOPDRACHT 5

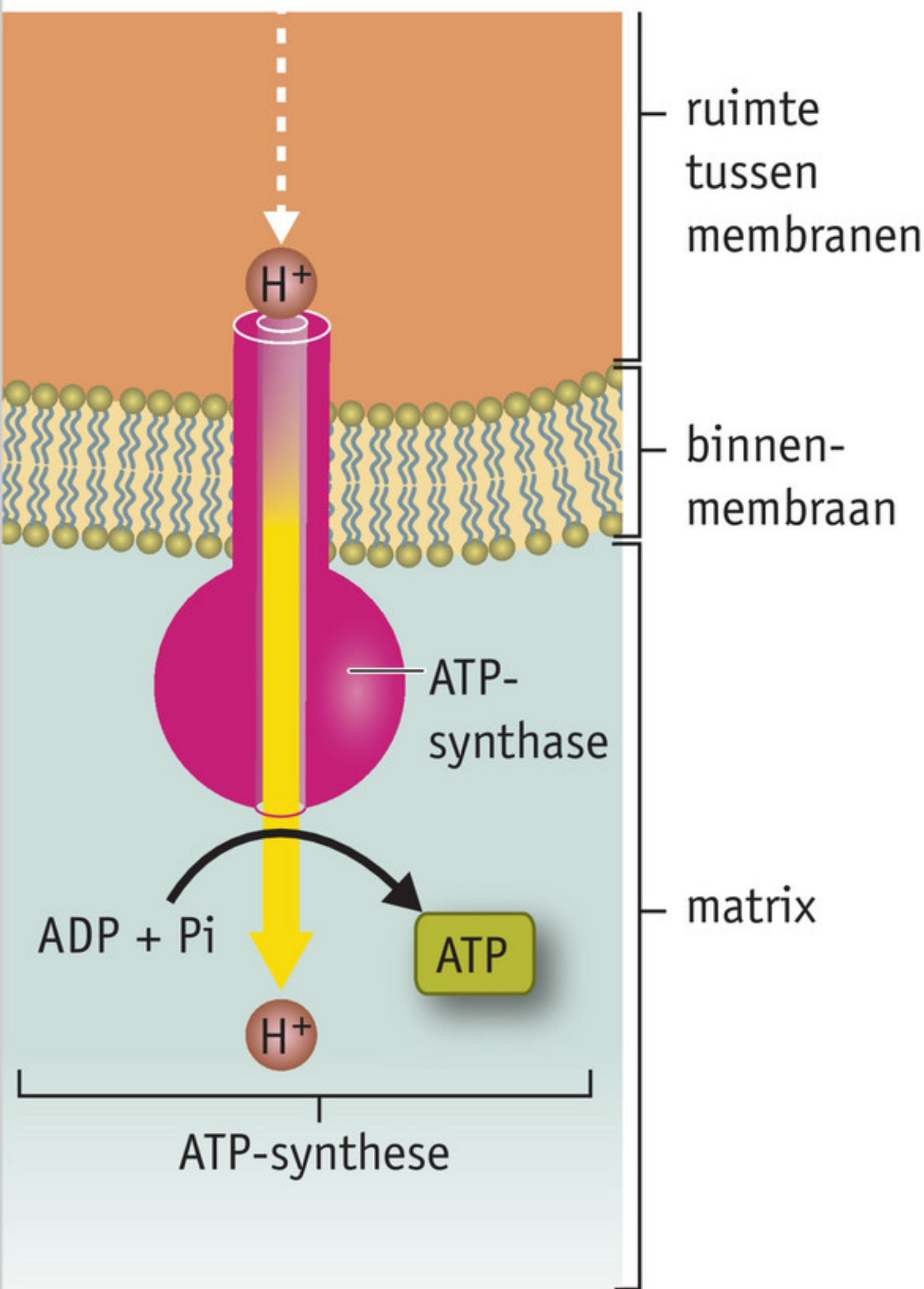
► **Afb. 50** De Body Mass Index (BMI).**opdrachten**

- 33** Maarten doet aan judo en heeft daardoor flink veel spieren. Hij doet mee aan de Nederlandse kampioenschappen. Volgens de BMI-meting heeft Maarten geen gezond gewicht.
- Leg uit dat de uitkomst van de BMI-meting niet klopt.
 - Hoe kan Maarten wel bepalen of hij een gezond gewicht heeft?
 - Het is niet vanzelfsprekend dat iemand met een gezond gewicht voldoet aan de eisen voor een gezonde voeding. Leg dat uit.
- 34** In afbeelding 51 is een onderzoek naar de activiteit van bruin vetweefsel beschreven.
- Formuleer een onderzoeksvraag bij het experiment.
 - Formuleer een hypothese bij de onderzoeksvraag.
 - Baby's hebben nog niet veel wit vetweefsel en ze kunnen niet rillen. Ongeveer 5% van het lichaamsgewicht van baby's bestaat uit bruin vetweefsel. Leg uit waarom bruin vetweefsel heel belangrijk is voor baby's.
 - Waarom neemt bij mensen het gehalte bruin vetweefsel meestal af met het toenemen van de leeftijd?

▼ Afb. 51

ONDERZOEK		DE ACTIVITEIT VAN BRUIN VET
Inleiding	Mensen hebben wit en bruin vetweefsel. Vet in het onderhuidse bindweefsel en buikvet bestaan uit wit vetweefsel. Bruin vetweefsel zit bij volwassenen in de gebieden boven de sleutelbeenderen en rond de aorta. De belangrijkste functie van bruin vetweefsel is het produceren van lichaamswarmte door de verbranding van vetzuren en glucose. Bruin vetweefsel heeft veel haarvaten en is daardoor goed doorbloed. Doordat de vetcellen van bruin vetweefsel veel mitochondriën bevatten, heeft het een bruine kleur.	
Onderzoeksvraag		
Hypothese		
Experiment	Een aantal volwassen proefpersonen verblijft tien achtereenvolgende dagen zes uur per dag in een kamer met een temperatuur van 16 °C. Ze zijn gekleed in een korte broek en een T-shirt. Tijdens hun verblijf voeren ze alleen zittende activiteiten uit en mogen ze zich niet te veel inspannen. Om de twee uur krijgen ze een kop soep of thee aangeboden. Broodjes zijn onbeperkt verkrijgbaar. De activiteit en omvang van het bruine vetweefsel worden gemeten door bodyscans uit te voeren bij de proefpersonen.	
Resultaat	Uit het experiment blijkt dat: – de activiteit van bruin vetweefsel bij de proefpersonen gemiddeld hoger is bij lagere temperaturen; – de gemiddelde hoeveelheid bruin vetweefsel bij de proefpersonen na het experiment is toegenomen.  Scans van bruin vetweefsel in dezelfde persoon voor en na het experiment. 1 voor het experiment 2 na het experiment In afbeelding 1 is bruin vetweefsel zichtbaar ter hoogte van het sleutelbeen. In afbeelding 2 is veel meer bruin vetweefsel zichtbaar.	
Conclusie	Wanneer volwassenen langere tijd aan kou worden blootgesteld, is de activiteit van bruin vetweefsel hoger en neemt de hoeveelheid bruin vetweefsel toe.	

▼ Afb. 52 Een deel van het binnenmembraan van een mitochondrium in een bruine vetcel.



- 35 Mitochondriën in bruin vetweefsel vormen geen ATP, maar zetten vetzuren en glucose direct om in warmte, waardoor het energieverbruik toeneemt. Zonder te hoeven bewegen worden vet en glucose verbrand. Dit is mogelijk door het transporteiwit UCP1 (uncoupling protein 1). Dit eiwit bevindt zich in de binnenmembranen van mitochondriën in bruin vetweefsel (zie afbeelding 52). UCP1 vergroot de permeabiliteit van het binnenmembraan, waardoor H⁺-ionen door diffusie kunnen terugstromen naar de matrix.
- a Welk proces in de mitochondriën wordt geblokkeerd door UCP1 in de binnenmembranen van bruine vetcellen? En waardoor komt dit?
- b Waarom zou het erg nadelig zijn als UCP1 veel in de mitochondriën van cellen in andere weefsels zou voorkomen?
- c Bruin vetweefsel moet worden geactiveerd voordat het warmte kan produceren. Dat kan door blootstelling aan milde kou (12 tot 18 °C). Het orthosympatisch zenuwstelsel zet dan hormoonklieren aan tot het produceren van noradrenaline, dat bindt aan receptoren in het membraan van bruine vetcellen waardoor deze worden geactiveerd. Leg uit hoe hormoonklieren worden aangezet tot het produceren van noradrenaline.

DE CHOLESTEROL-HDL-RATIO

Doordat cholesterol een belangrijke bouwstof is, kun je niet zonder. Maar te veel cholesterol in je bloed is ongezond. Overtollige cholesterol kan zich afzetten tegen beschadigingen aan de binnenwand van bloedvaten, die zijn ontstaan door roken, verhoogde bloeddruk of ouderdom. Hierdoor worden de bloedvaten nauwer. Dit kan op den duur leiden tot hart- en vaatziekten.

Cholesterol wordt vooral aangemaakt door je lever. In je bloed wordt cholesterol vervoerd in lipoproteïnen. Dat zijn verbindingen van cholesterol en eiwitten. Er bestaan verschillende soorten lipoproteïnen, waaronder VLDL (Zeer (very) Lage Dichtheid Lipoproteïne), LDL (Lage Dichtheid Lipoproteïne) en HDL (Hoge Dichtheid Lipoproteïne).

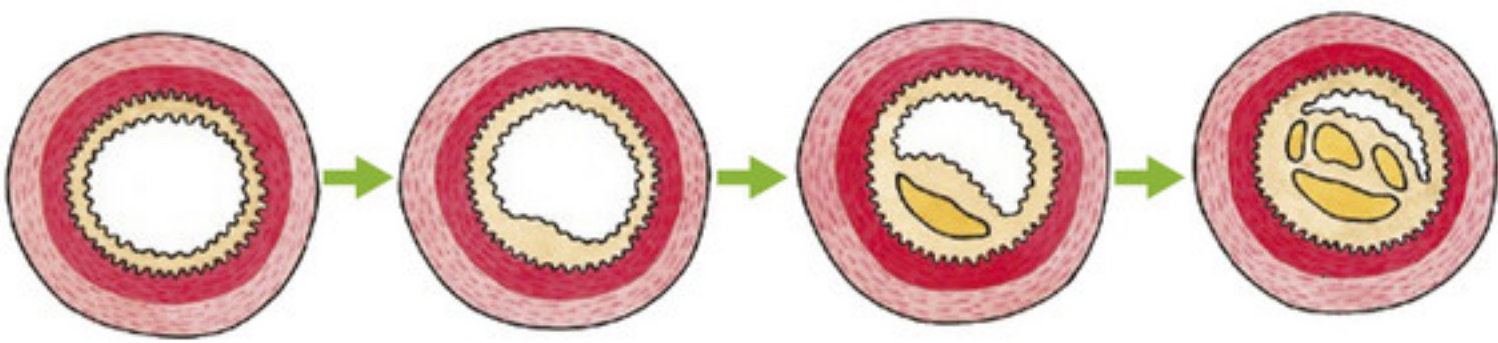
De cholesterol die je lever aanmaakt, vormt samen met andere vetten VLDL, dat wordt afgegeven aan het bloed. De cellen in weefsels nemen de meeste vetten uit VLDL op. Uiteindelijk ontstaan uit VLDL lipoproteïnen die voornamelijk nog cholesterol bevatten: LDL. Het merendeel van dit LDL wordt opgenomen in de lever, bijnieren en teelballen of eierstokken. LDL-cholesterol die in het bloed blijft, kan zich afzetten tegen de binnenwand van de bloedvaten (zie afbeelding 53).

De lever maakt ook HDL en geeft dit af aan het bloed. HDL neemt LDL-cholesterol uit het bloed op en voert die af naar de lever. HDL verlaagt zo het LDL-cholesterolgehalte van het bloed. In de lever wordt de overtollige cholesterol met de gal uit het lichaam verwijderd. HDL kan er zelfs voor zorgen dat de afgezette cholesterol in de bloedvaten wordt afgebroken.

Verzadigde vetzuren in je voeding zorgen voor een toename van LDL-cholesterol. Onverzadigde vetzuren zorgen juist voor een toename van HDL-cholesterol.

Een hoog cholesterolgehalte kan onder andere worden veroorzaakt door overgewicht, het eten van veel verzadigd vet, diabetes en erfelijke aanleg. De waarde van het totale cholesterolgehalte is echter niet voldoende om vast te stellen of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten. Een arts kijkt daarvoor ook naar de verhouding LDL en HDL ofwel de cholesterol-HDL-ratio. Hoe hoger het HDL, des te beter is de afvoer van overtollige LDL-cholesterol naar de lever. De cholesterol-HDL-ratio bereken je door het totale cholesterolgehalte te delen door het HDL. Wanneer de ratio kleiner is dan 4, is er geen verhoogde kans op hart- en vaatziekten (zie afbeelding 54).

▼ Afb. 53 Vernauwing van een bloedvat door afzetting van LDL-cholesterol.



▼ Afb. 54 Betekenis van de resultaten van een cholesterolmeting.

Het cholesterol- gehalte is:	Het cholesterol- gehalte is:
lager dan 5,0 mmol/L	normaal
5,0 – 6,4 mmol/L	licht verhoogd
6,5 – 7,9 mmol/L	verhoogd
hoger dan 8,0 mmol/L	sterk verhoogd

opdrachten

- 36 Sommige mensen hebben een verhoogd cholesterolgehalte van het bloed (hypercholesterolemie) terwijl ze voedingsmiddelen met veel cholesterol vermijden.
- a Wat is de oorzaak van het verhoogde cholesterolgehalte bij deze mensen?
- b In afbeelding 55 is de gemiddelde samenstelling van Edammer kaas en van pindakaas weergegeven.
Geef twee redenen waarom een boterham met pindakaas beter past in een cholesterolverlagend dieet dan een boterham met Edammer kaas.
- c Bij een patiënt is het totale cholesterolgehalte 6,5 mmol/L en het HDL-gehalte 1,2 mmol/L.
Bereken de cholesterol-HDL-ratio van deze patiënt en bepaal of de patiënt een verhoogde kans heeft op hart- en vaatziekten.

▼ **Afb. 55** Samenstelling van Edammer kaas en pindakaas.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Kool- hydra- ten	Suikers	Vet	Verza- digd vet	E.o.v.	M.o.v.	Choles- terol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Edammer kaas 40+	313	1310	45,5	26,1	0,0	0,0	23,4	15,5	6,0	0,7	71,0	0,0
Pindakaas	625	2613	3,0	26,0	12,0	6,0	52,0	9,2	23,0	17,5	0,0	6,0

- 37 Voedingsmiddelen worden vaak bewerkt om ze langer houdbaar te maken of om te voorkomen dat we er ziek van worden. Ook kunnen stoffen aan voedingsmiddelen worden toegevoegd om ze aantrekkelijker te maken.
- a Uit een onderzoek blijkt dat ongeveer 70% van het verkochte voedsel in supermarkten bestaat uit ultra-processed food. Zoek op het internet op wat ultra-processed food is.
- b Geef minstens drie argumenten waaruit blijkt dat het lichaam van de mens niet geschikt is voor het verwerken van ultra-processed foods.

CONTEXT

Beroep

Immuunmodulatie

▼ **Afb. 56** Voedingsmiddelen en voedingsstoffen die een allergische reactie kunnen veroorzaken.



Regelmatig vind je op de verpakking van voedingsmiddelen een waarschuwing voor allergenen: eiwitten in het voedingsmiddel die allergische reacties kunnen opwekken. Soms wordt op de verpakking vermeld dat het voedingsmiddel sporen kan bevatten van pinda's, noten, gluten, lactose, koemelk, ei of vis (zie afbeelding 56). Het is dan geproduceerd in een omgeving waar allergenen aanwezig zijn. Als je lijdt aan een voedselallergie zijn deze vermeldingen op voedingsmiddelen heel belangrijk. Het kleinste beetje pinda kan bijvoorbeeld al dodelijk zijn voor mensen met een pinda-allergie. Zo stierf een Canadees meisje als gevolg van een nachtkus van haar vriendje die net een boterham met pindakaas had gegeten.

Allergieën kunnen een anafylactische reactie veroorzaken. Als reactie op allergenen verwijden de bloedvaten zich sterk, waardoor de bloeddruk te laag wordt, en door zwellingen kan een acute vernauwing van de luchtwegen optreden.

Studenten Levensmiddelentechnologie aan Wageningen University onderzoeken hoe ze voedingsmiddelen kunnen aanpassen, zodat deze geen allergische reactie veroorzaken. Deze wetenschap heet immuunmodulatie. Voedingsmiddelen die invloed hebben op specifieke immuuncellen worden ingezet om het immuunsysteem in balans te brengen en allergische reacties te verminderen.

opdrachten

- 38 a** Zoek op internet op wat de wo-opleiding Levensmiddelentechnologie precies inhoudt.
- b** Een levensmiddelentechnoloog moet creatief en innovatief zijn. Leg dat uit.
- c** Volgens professor Harry Wichers van Wageningen University zijn probiotica en schimmels voorbeelden van voedingsmiddelen die kunnen helpen het immuunsysteem van mensen met een voedselallergie in balans te brengen. Probiotica zijn bacteriën die ook leven in je darmen. Een evenwichtige darmflora is belangrijk voor een goed werkend immuunsysteem. Leg uit waarom levensmiddelentechnologen onderzoeken hoe ze probiotica levend in de darmen kunnen krijgen.
- 39 a** Wanneer een allergische reactie leidt tot een anafylactische reactie, krijgt een slachtoffer een injectie met adrenaline (EPI-pen). Leg uit waarom.
- b** Er is een groot verschil tussen voedselallergie en voedselintolerantie. Leg uit waarom er niet wordt gesproken van lactoseallergie, maar van lactose-intolerantie.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingstof doen.

Leerdoelen

- Je kunt de argumenten voor het eten van insecten door mensen toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch denken en vorm-functiedenken toepassen op de vertering bij mieren en het eten van insecten door mensen.

▼ **Afb. 1** Hangende honingpotmieren.



Eten en gegeten worden

De chef-kok van het wereldberoemde Deense restaurant Noma serveert ze levend. Een soort met de naam ‘honingpot’ is in veel landen een ware traktatie. En het zijn naast mensen de enige dieren die aan ‘landbouw’ doen: mieren.

Mensen eten mieren. Het achterlijf van gespecialiseerde werksters van de honingpotmier wordt door soortgenoten gebruikt voor voedselopslag. Aboriginals in Australië besteden veel tijd aan het uitgraven van een nest van honingpotmieren om exemplaren met een gezwollen achterlijf te vinden (zie afbeelding 1). Ze bijten het achterlijf open en zuigen het leeg. Mexicanen knijpen de inhoud eruit en gebruiken die bij het bereiden van hun maaltijden. In Colombia kun je in de pauze van een film geroosterde parasolmieren kopen in plaats van popcorn. En een stam indianen die in het Amazonegebied leeft, vindt sauvamieren een delicatessen. Ze smaken naar citroen en worden gebruikt als smaakmaker in bijvoorbeeld sausjes.

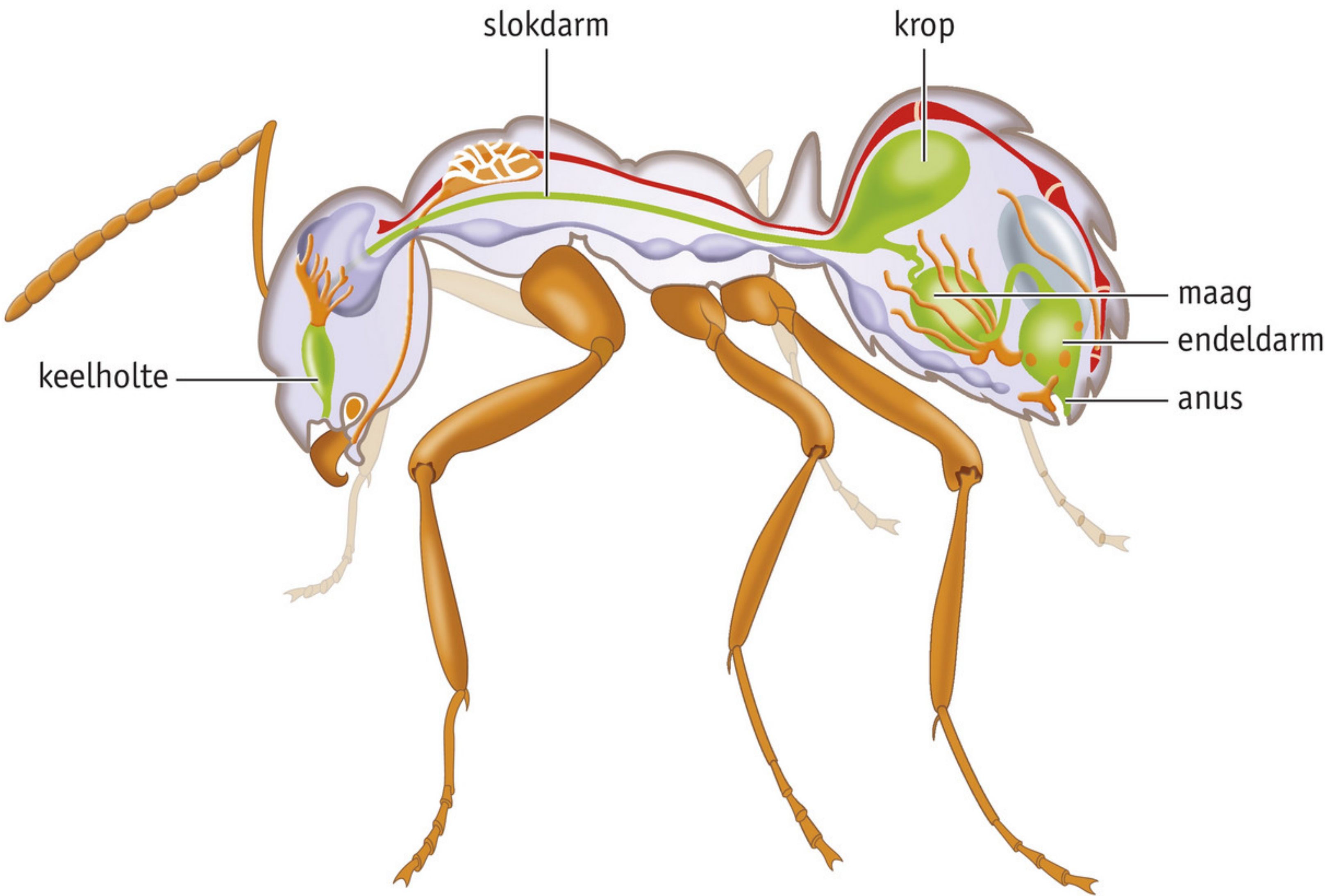
Mieren verzamelen hun voedsel, maar meestal doen ze nog meer om aan eten te komen. Zo doen honingpotmieren en veel andere mierensoorten aan veeteelt. Ze ‘melken’ bladluizen. Bladluizen zuigen met hun snuit het sap uit de bastvaten van planten. Het teveel aan suikers in het sap komt via de anus als honingdauw naar buiten. Mieren likken de honingdauw op. In ruil daarvoor krijgen de luizen bescherming tegen roofdieren, zoals het lieveheersbeestje.

Parasolmieren doen aan akkerbouw. Ze kweken schimmels. Ze knippen stukjes blad af met hun kaken en dragen deze als een soort parasol naar hun nest onder de grond. Daar worden de bladeren door werkstermieren fijngekauwd tot moes. Deze bladermoes gaat schimmelen. De schimmels en hun sporen worden als voedsel gebruikt door de mieren en hun mierenlarven.

opdrachten

- 1 Maak een tabel met de verschillende organisatieniveaus en zet woorden uit de tekst bij het juiste niveau.
- 2 Bij mieren komt voedsel in de mond eerst in een speciaal zakje. Dit zakje werkt als een zeef. De mier spuugt te grote voedseldeeltjes uit. Hierdoor wordt voorkomen dat deze in het spijsverteringskanaal terechtkomen.
 - a Bekijk afbeelding 2 en leg uit waardoor mieren geen grote voedseldeeltjes kunnen verteren.
 - b Onderzoekers hebben ontdekt dat werksters van mierenkolonies met larven vooral eiwitrijk voedsel verzamelen. Werksters van mierenkolonies zonder larven verzamelen vooral suikerrijk voedsel. Leg dit uit.
 - c Insecten gebruiken hun krop om er voedsel in op te slaan (zie afbeelding 2). Honingpotmieren hebben vliezen tussen de segmenten van hun achterlijf die kunnen uittrekken. Leg uit waarvoor die nodig zijn.
 - d Wanneer de achterlijven van honingpotmieren sterk zijn gezwollen, zijn ze niet meer in staat zich te verplaatsen. Ze kunnen alleen nog maar hangen. Het voedsel dat de andere werksters brengen wordt vooral opgeslagen. Geef twee redenen waarom hangende honingpotmieren zo weinig voeding nodig hebben.
 - e Honingpotmieren leven in warme, droge gebieden. Waarom kunnen ze juist daar goed overleven?

► **Afb. 2** Het spijsverteringsstelsel van een mier.



- 3
- Qua voedingswaarde zijn mieren, net als andere insecten, een uitstekende vervanger van vlees. Dat is voor sommige entomologen (wetenschappers die insecten onderzoeken) een reden om het eten ervan te promoten.
- a
- Leg met behulp van afbeelding 3 uit waarom sommige wetenschappers insecten een duurzaam alternatief vinden voor vlees. Geef daarvoor vier argumenten.
- b
- Onderzoeker Ben Reade ziet het eten van insecten helemaal niet als een duurzame oplossing voor het wereldvoedselprobleem. Hij vindt het bijvoorbeeld geen goed idee dat de insectenkwekerijen in Nederland insecten produceren op basis van het intensieve veeteeltmodel. Ook hebben we in Nederland geen tekort aan eiwitten. Volgens Reade kunnen we beter onze eiwitten uit planten halen voor een duurzame oplossing. Leg dat uit.
- c
- Het eten van insecten is cultuurgebonden. Als je ermee bent opgegroeid, vind je het geen probleem om ze te eten.
Geef een ecologische reden waarom mensen in Nederland niet gewend zijn om insecten te eten, maar mensen in de tropen wel.
- d
- Waarom eten parasolmieren de bladeren van planten niet direct op, maar gebruiken ze gekauwde bladeren om er schimmels op te kweken?

▼ **Afb. 3** Vleesproductie.

Diersoort	Omzettingsfactor van 10 kg voer (maïs, tarwe, soja, enzovoort)	Eetbaar deel	CO ₂ -uitstoot per kg	Ruimtebeslag (m ² /kg)
Rund	1 kg	40%	15,9	14,7
Varken	3 kg	55%	4,5	7,7
Kip	5 kg	55%	2,6	4,6
Sprinkhaan	9 kg	80%	1,7	2,4

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- een brander met een driepoot en een gaasje
- een reageerbuisknijper
- een bekersglas van 500 mL
- een mes (of een spatel)
- eiwit van een ongekookt kippenei
- glucose
- zetmeel
- vitamine C-oplossing
- biureet-reagens in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- DCPIP-oplossing in een flesje met een druppelpipet

Practica

Voedingsstoffen aantonen

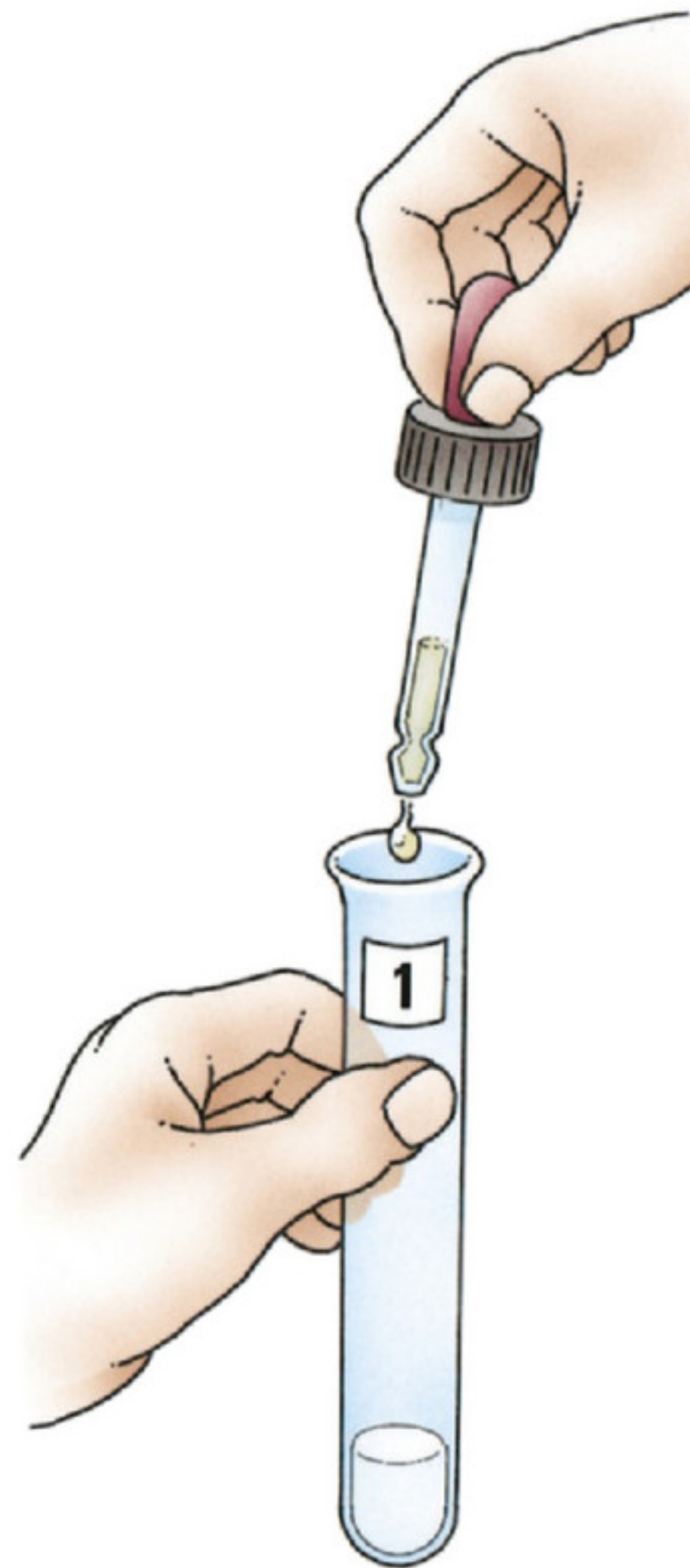
►► BASISSTOF 1

Sommige voedingsstoffen kun je aantonen met indicatoren. In deze practicumopdracht onderzoek je welke kleurveranderingen er optreden wanneer je met indicatoren een voedingsstof aantoot.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Vul het bekersglas voor de helft met water, zet dit op de driepoot met gaasje en verhit het water met de brander.
- Eiwit: doe een beetje eiwit in reageerbuis 1. Voeg ongeveer 3 mL water toe en schud de buis voorzichtig. Voeg dan enkele druppels biureet-reagens toe (zie afbeelding 1).
- Glucose: doe een mespunt glucose in reageerbuis 2. Voeg ongeveer 3 mL water toe en schud tot de glucose is opgelost. Voeg vervolgens ongeveer tien druppels fehling-reagens toe. Zet de buis in het bekersglas met water en breng het water aan de kook. Verhit de buis tot de inhoud kookt.
- Zetmeel: doe een mespunt zetmeel in reageerbuis 3. Voeg ongeveer 3 mL water toe. Voeg vervolgens enkele druppels jodiumoplossing toe. Schud de buis.
- Vitamine C: doe een beetje vitamine C-oplossing in reageerbuis 4. Voeg één druppel DCPIP-oplossing toe. Schud de buis.

▼ **Afb. 1** Druppels toevoegen met een druppelpipet.



RESULTAAT

- 1 Maak een overzicht van de voedingsstoffen en hun indicator en noteer welke kleurverandering je waarneemt.

practicumopdracht 2

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- een brander met een driepoot en een gaasje
- een reageerbuisknijper
- een bekersglas van 500 mL
- een mes en een schaalte of een vijzel
- voedingsmiddelen, bijvoorbeeld brood, worst, ui, melk, sinas
- biureet-reagens in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- DCPIP-oplossing in een flesje met een druppelpipet

practicumopdracht 3

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 9 reageerbuizen
- 9 etiketten
- een pipet van 2 mL
- een brander met een driepoot en een gaasje
- een bekersglas met gedestilleerd water
- een waterbad
- zetmeeloplossing van 2%
- joodoplossing in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet

Voedingsstoffen in voedingsmiddelen aantonen

►► BASISSTOF 1

In deze practicumopdracht onderzoek je met indicatoren of eiwitten, glucose, zetmeel en vitamine C in bepaalde voedingsmiddelen voorkomen.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Neem een voedingsmiddel. Een vast voedingsmiddel maak je goed fijn.
- Doe in elke reageerbuis een kleine hoeveelheid voedingsmiddel. Voeg aan de reageerbuizen ongeveer 2 mL water toe en schud de buizen. Als het voedingsmiddel vloeibaar is, doe je in elke reageerbuis ongeveer 2 mL van het voedingsmiddel.
- Vul het bekersglas voor de helft met water en zet dit op de driepoot met gaasje. Verhit het water met de brander.
- Onderzoek met behulp van de indicatoren of het voedingsmiddel eiwitten, glucose, zetmeel of vitamine C bevat. Verhit een reageerbuis waaraan je fehling-reagens hebt toegevoegd in het bekersglas tot de inhoud kookt.
- Noteer je resultaten.
- Onderzoek vervolgens op dezelfde manier enkele andere voedingsmiddelen.
- Maak tussendoor de buizen steeds goed schoon.

RESULTAAT

- 1** Noteer in een overzicht welke voedingsmiddelen je hebt onderzocht en geef aan welke voedingsstoffen de voedingsmiddelen bevatten.
- 2** Vergelijk je gegevens met die van medeleerlingen. Probeer de oorzaak te achterhalen als de resultaten niet overeenkomen.

De werking van speeksel

►► BASISSTOF 3

In deze practicumopdracht onderzoek je de werking van amylase in speeksel. Je gebruikt daarbij jodiumoplossing en fehling-reagens als indicatoren.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 9.
- Verzamel speeksel uit je mond. Vul reageerbuis 9 tot ongeveer 1,5 cm hoogte met speeksel. (Dun, waterig speeksel geeft een beter resultaat dan dik, slijmerig speeksel.)
- Verdun het speeksel met een gelijke hoeveelheid gedestilleerd water. Meng goed.
- Pipetteer in reageerbuis 1 en 2 elk 1 mL gedestilleerd water.
- Pipetteer in reageerbuis 3 en 4 elk 1 mL speekseloplossing.
- Spoel de pipet goed schoon.
- Pipetteer in reageerbuis 5 tot en met 8 elk 2 mL zetmeeloplossing.
- Zet de reageerbuizen in het waterbad bij 37 °C. Laat de buizen 5 minuten op temperatuur komen.
- Doe de inhoud van reageerbuis 1 bij die van reageerbuis 5, die van 2 bij die van 6, die van 3 bij die van 7 en die van 4 bij die van 8. Laat reageerbuis 5 tot en met 8 nog 10 minuten in het waterbad staan bij 37 °C.

practicumopdracht 4

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- 2 pipetten van 1 mL
- een pipet van 5 mL
- een pipet van 10 mL
- een waterbad
- alveessap (pancreatineoplossing van 4%)
- gal
- olijfolie
- gedestilleerd water
- fenolftaleïneoplossing (1% in een flesje met een druppelpipet)
- natriumhydroxide (0,05 mol/L NaOH)

- Voeg aan reageerbuis 5 en 7 elk vijf druppels jodiumoplossing toe. Voeg aan reageerbuis 6 en 8 elk tien druppels fehling-reagens toe. Schud de buizen. Zet reageerbuis 6 en 8 in een bekglas met water. Verhit het bekglas met de reageerbuizen tot de inhoud kookt.

RESULTAAT

- 1 Maak een schema met een overzicht van je resultaten.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 2 Welke conclusie kun je trekken?
- 3 Buis 5 en 6 dienen als controleproef. Leg dit uit.

De werking van alveessap en gal

►► BASISSTOF 3

Alveessap en gal spelen een rol bij de vertering van vetten in de twaalfvingerige darm en de dunne darm. In deze practicumopdracht onderzoek je wat de invloed is van gal op de werking van alveessap.

ONDERZOEKSVRAAG

- 1 Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

HYPOTHESE

- 2 Stel een hypothese op bij je onderzoeksvraag.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Pipetteer in reageerbuis 2 en 4 elk 5 mL alveessap.
- Pipetteer in reageerbuis 3 en 4 elk 1 mL gal.
- Spoel de pipetten goed schoon.
- Pipetteer in elke reageerbuis 0,5 mL olijfolie.
- Pipetteer hierna in elke reageerbuis zoveel gedestilleerd water dat er 10 mL vloeistof in de reageerbuis zit.
- Spoel de pipetten goed schoon.
- Schud de reageerbuizen goed en zet ze weg in het waterbad bij 37 °C. Laat de buizen staan tot de volgende les.

NA ÉÉN TOT DRIE DAGEN

Fenolftaleïne is kleurloos in een zuur milieu en rood in een basisch milieu. Door natriumhydroxide toe te voegen neutraliseer je de vetzuren die bij de vertering vrijkomen.

- Voeg aan elke reageerbuis twee druppels fenolftaleïneoplossing toe.
- Pipetteer in reageerbuis 1 telkens 0,1 mL natriumhydroxide. Schud de buis na elke toevoeging. Stop met toevoegen als de vloeistof in de reageerbuis blijvend een roze kleur krijgt. Noteer hoeveel milliliter natriumhydroxide je hebt toegevoegd.
- Doe hetzelfde met de andere reageerbuizen.

RESULTAAT

- 3 Maak een schema met een overzicht van je resultaten.

practicumopdracht 5

MATERIAAL

- een weegschaal
- een meetlint en eventueel meetlat
- de BMI-index (afbeelding 50)

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 4 Leg uit waarom je telkens 0,1 mL natriumhydroxide moet toevoegen totdat de oplossing in de reageerbuis blijvend roze kleurt.
- 5 In welke reageerbuis of reageerbuizen is het meeste vet verteerd? Leg je antwoord uit.
- 6 In welke reageerbuis of reageerbuizen is ook vet verteerd? Leg je antwoord uit.
- 7 In welke reageerbuizen heeft geen vertering van vet plaatsgevonden? Leg uit waardoor niet.
- 8 Welke conclusie kun je trekken?

Je BMI en tailleomtrek bepalen

►► BASISSTOF 5

Voor een gezond gewicht moet de voedselopname zijn afgestemd op het energieverbruik. In deze practicumopdracht onderzoek je of je een gezond gewicht hebt.

ONDERZOEKSVRAAG

- 1 Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

HYPOTHESE

- 2 Stel een hypothese op bij je onderzoeksvraag.

METHODE

- Weeg jezelf (thuis) wanneer je je gewicht niet weet.
- Bepaal je lengte (in centimeters) wanneer je niet weet hoe lang je bent.
- Bepaal met behulp van de BMI-index van afbeelding 50 of je een gezond gewicht hebt.
- Meet je tailleomtrek om het smalste punt met een meetlint.

RESULTATEN

Beantwoord de volgende vragen.

- 3 Heb je een gezond gewicht volgens de BMI-index?
- 4 Heb je een gezonde tailleomtrek?

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 5 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 6 Zijn de resultaten van het practicum betrouwbaar? Leg je antwoord uit.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de kenmerken en functies noemen van zes groepen voedingsstoffen en van voedingsvezel.

- Voedingsmiddelen: alles wat je eet en drinkt.
- Voedingsstoffen: de bruikbare bestanddelen van voedingsmiddelen.
 - Als bouwstoffen voor organische moleculen bij de voortgezette assimilatie (voor groei en ontwikkeling, voor vervanging van afgestorven cellen en voor herstel van verwondingen).
 - Als brandstoffen om energie te leveren voor de dissimilatie (om te kunnen bewegen, voor het op peil houden van de lichaamstemperatuur en voor groei, ontwikkeling en herstel).
- Eiwitten (proteïnen):
 - Functie: vooral bouwstof, komt voor in tussencelstof (collageen, kraakbeen, been), nodig bij het transport van stoffen (transporteiwitten), de celcommunicatie (signalen overbrengen: hormonen, neurotransmitters), chemische reacties (enzymen), immuniteit (antistoffen) en bloedstolling (stollingseiwitten).
 - Een teveel wordt niet opgeslagen, maar wordt omgezet in glucose en verbrand.
 - Essentiële aminozuren: moeten in het voedsel aanwezig zijn, omdat ze niet of in onvoldoende hoeveelheden in het lichaam van de mens kunnen worden gevormd.
- Koolhydraten (sachariden):
 - Functie: vooral brandstof, ook bouwstof (o.a. in DNA, in ATP en in celmembranen).
 - Een teveel aan opgenomen koolhydraten wordt omgezet in glycogeen of vet en opgeslagen.
- Voedingsvezel: stoffen afkomstig van plantaardige voedingsmiddelen die niet door enzymen van de mens kunnen worden verteerd.
 - Functie: de darmwerking bevorderen.
- Vetten (lipiden):
 - Functie: vooral brandstof, ook bouwstof (fosfolipiden in membranen), oplosmiddel voor sommige vitaminen (A, D, E en K).
 - Triglyceriden: vetmoleculen die zijn opgebouwd uit een glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen.
 - Een teveel aan opgenomen vetten wordt opgeslagen onder de huid en rondom organen.
 - Essentiële vetzuren: moeten in het voedsel aanwezig zijn.
- Water:
 - Functie: bouwstof (in lichaamscellen).

- Dient ook als oplosmiddel en transportmiddel en bepaalt samen met de opgeloste stoffen de osmotische waarde van vloeistoffen in het lichaam.
- Organismen bestaan voor het grootste deel uit water.
- Mineralen (zouten):
 - Functie: bouwstof (bijvoorbeeld calcium en fosfor in de tussencelstof van beenweefsel en tandbeen).
 - Spoorelementen: mineralen die in geringe hoeveelheden in het voedsel aanwezig zijn. Spoorelementen zijn vaak bestanddeel van enzymen of hormonen.
- Vitaminen:
 - Functie: bouwstof (o.a. als bestanddeel van enzymen).
 - Vitaminecomplex: een verzamelnaam voor verschillende vitaminen B waarbij de afzonderlijke vitaminen worden aangegeven met cijfers zoals B1 en B6.
 - Bij een tekort aan vitaminen in het voedsel ontstaan gebreksziekten. Een teveel kan ook schadelijk zijn.
 - Vitaminen (behalve vitamine K) kunnen niet in het lichaam worden gevormd en moeten dus in het voedsel aanwezig zijn. Sommige vitaminen kunnen in het lichaam worden gevormd uit provitaminen (die in het voedsel aanwezig moeten zijn).

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven en de relatie tussen bouw en functie uitleggen.

- Darmperistaltiek:
 - Het afwisselend samentrekken van kringspieren en lengtespieren in de wand van het darmkanaal waardoor de voedselbrij wordt voortgeduwd, gekneed en gemengd met de verteringssappen.
- Verteringssappen:
 - Worden aan de voedselbrij afgegeven door verteringsklieren en bevatten enzymen.
- Vertering: in het darmkanaal (verteringskanaal).
 - Mechanische vertering: kauwen en kneden (darmperistaltiek).
 - Chemische vertering: enzymen in verteringssappen breken voedingsstoffen af tot moleculen die cellen in de darmwand kunnen opnemen.
- Mondholte:
 - Speekselklieren: produceren speeksel.
 - Gebit: voedsel afbijten en verkleinen (kauwen).
- Keelholte:
 - Slikreflex: de huig sluit de neusholte af en het strotklepje sluit de luchtpijp af.
- Slokdarm: verbindt de keelholte met de maag.
- Maag:
 - Functie: tijdelijke opslagplaats van voedsel.

- Kringspiieren bij de ingang en de uitgang (maagportier of pylorus) kunnen de maag afsluiten.
- Maagsapklieren produceren maagsap.
- Zoutzuur (HCl) in maagsap zorgt voor een sterk zuur milieu waardoor bacteriën in het voedsel worden gedood.
- Slijm in maagsap beschermt de maagwand tegen het maagsap.
- Lever:
 - Functie voor de spijsvertering: produceert gal.
 - Gal bevat galkleurstoffen en galzouten.
 - Gal wordt tijdelijk opgeslagen in de galblaas en afgevoerd via de galbuis.
- Alvleesklier (pancreas): produceert alveessap.
- Twaalfvingerige darm (eerste deel van de dunne darm): vermengt gal en alveessap met de voedselbrij.
- Dunne darm: darmsapklieren produceren darmsap.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 2

Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en orgaanstelsels van de mens en van andere eukaryoten.

- Fagocytose: opnemen van voedsel in de cel door het afsnoeren van blaasjes (voedingsvacuole).
 - Voedingsvacuole: een blaasje met voedingsstoffen dat ontstaat door instulping en afsnoering van het celmembraan.
- Intracellulaire vertering: vertering in de cel.
- Extracellulaire vertering: vertering vindt plaats in een speciale ruimte in het lichaam.
 - Maagdarmholte: een holte in het lichaam met maar één opening die mond en anus tegelijk is en waarin vertering van voedsel plaatsvindt.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden verteerd in het darmkanaal en verklaren op welke wijze factoren dit kunnen beïnvloeden.

- Speeksel: bevat slijm en amylase.
 - Slijm: maakt het voedsel glad, waardoor het inslikken gemakkelijker gaat.
 - Amylase (pH-optimum 6,6) verteert zetmeel tot maltose.
 - De speekselproductie wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel.
- Maagsap: bevat zoutzuur, slijm en pepsinogeen (een inactief pro-enzym).
 - De productie van maagsap wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel (voedsel zien en/of ruiken) en door het hormoon gastrine (als het voedsel in de maag is aangekomen) uit de maagwand.
 - Een inactief pro-enzym: een niet-actief enzym dat door chemische reacties met andere stoffen wordt omgezet in een actief enzym.

- Zoutzuur (HCl) activeert pepsinogeen in maagsap tot pepsine.
- Pepsine (pH-optimum 2,5) activeert pepsinogeen tot pepsine (positieve terugkoppeling).
- Pepsine verteert eiwitten tot lange polypeptiden (vrij lange aminozuurketens).
- Bij een lage pH in de twaalfvingerige darm is de maagportier samengetrokken.
- Bij een licht basische pH in de twaalfvingerige darm is de maagportier ontspannen.
- Gal: de galblaas geeft gal af als vethoudend voedsel de wand van de twaalfvingerige darm passeert.
 - Galkleurstoffen: afbraakproducten van dode rode bloedcellen.
 - Galzouten: emulgeren vetten, dit vergroot het totale oppervlak van de vetdruppels.
 - Bij een lage pH produceren cellen in de wand van de twaalfvingerige darm de hormonen secretine en cholecystokinine.
 - Secretine regelt de productie van gal door de lever.
 - Cholecystokinine regelt de afgifte van gal door de galblaas.
- Alveessap: de alveesklier geeft alveessap af als de pH in de twaalfvingerige darm laag is.
 - Bevat natriumwaterstofcarbonaat (NaHCO_3), trypsinogeen (een inactief pro-enzym), peptidasen, amylase, lipase, DNA-ase en RNA-ase.
 - Secretine stimuleert de alveesklier tot de secretie van natriumwaterstofcarbonaat (NaHCO_3) dat HCl uit de maag neutraliseert (de pH stijgt in de twaalfvingerige darm tot pH 8 à 9).
 - Trypsinogeen wordt in de twaalfvingerige darm geactiveerd tot trypsine onder invloed van enterokinase uit de wand van de twaalfvingerige darm.
 - Trypsine: verteert lange polypeptiden tot korte polypeptiden.
 - Peptidasen: verteren polypeptiden tot di- en tripeptiden en aminozuren.
 - Lipase: verteert vetten (triglyceriden) tot glycerol, vetzuren en monoglyceriden. Door de vrijgekomen vetzuren daalt de pH van de voedselbrij.
 - DNA-ase en RNA-ase splitsen DNA en RNA tot nucleotiden.
- Darmsap:
 - Bevat maltase, sacharase, lactase en peptidasen.
 - Maltase verteert maltose tot glucose.
 - Sacharase verteert sacharose tot glucose en fructose.
 - Lactase verteert lactose tot glucose en galactose.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

- Dunne darm:
 - Darmwand: groot oppervlak door darmplooiën, darmvlokken (villi) en microvilli (uitstulpingen van darmepitheelcellen).
 - Darmepitheel: de buitenste laag cellen van de darmvlokken. Functie: opname van water, voedingsstoffen en verteringsproducten.
- Resorptie: de opname van stoffen in het bloed en de lymfe via de darmwand.
 - Kan plaatsvinden in het hele darmkanaal.
 - In de dunne darm vindt de meeste resorptie plaats door het grote oppervlak.
- Resorptie door:
 - passief transport: diffusie via de fosfolipiden, porie-eiwitten of transporteiwitten in het membraan;
 - actief transport (energie nodig uit de omzetting van ATP): darmepitheelcellen nemen stoffen op tegen het concentratieverval in en er vindt selectie van stoffen plaats.
- Darmepitheelcellen:
 - Amino-zuren, monosachariden (o.a. glucose), water, mineralen en vitaminen worden afgegeven aan het bloed.
 - Uit monoglyceriden, vetzuren en glycerol worden weer triglyceriden gevormd, die als lipoproteïnen worden afgegeven aan de intercellulaire ruimten tussen de darmepitheelcellen en via de lymfevaten worden opgenomen in het bloed.
- Het bloed uit de haarvaten van de maag tot en met de dikke darm stroomt door de poortader naar de lever.
- Blindedarm met appendix (wormvormig aanhangsel):
 - Bij blindedarmontsteking is de appendix ontstoken.
- Dikke darm:
 - Functie: resorptie van water, mineralen, glucose en vitamine K.
 - Bij diarree wordt niet voldoende water uit de brij van onverteerde voedselresten geresorbeerd.
 - Darmbacteriën (darmflora): sommige soorten produceren cellulase dat cellulose uit de celwanden van plantaardig voedsel verteert. Andere soorten produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, zoals vitamine K.
- Endeldarm met anus:
 - Functie: verzamelen en tijdelijk opslaan van onverteerde voedselresten (ontlasting of feces).
 - Anus: kringspier die de endeldarm afsluit.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 5

Je kunt beargumenteren wat gezonde voeding is en wat de gezondheidsrisico's zijn van ongezonde of van te veel voeding.

- Voor informatie over voedingsstoffen, voedingsmiddelen en voedingspatronen in relatie tot gezondheid kun je de Schijf van Vijf gebruiken.
- Onbewerkt, vers en plantaardig voedsel is gezonder.
 - Sterk bewerkte voedingsmiddelen bevatten vaak veel kleurstoffen, smaakstoffen, geurstoffen, suiker, verzadigd vet en zout, en weinig mineralen, vitaminen en vezels.
 - Wanneer je veel sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, heb je een verhoogde kans op welvaartsziekten zoals obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten.
- Als je meer energie via je voeding binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je zwaarder en dikker worden door opslag van vet in het onderhuidse bindweefsel en rondom organen in je buik (buikvet).
 - De energiebehoefte van een mens is o.a. afhankelijk van het geslacht, de leeftijd, de omgevingstemperatuur, het lichaamsgewicht en de lichamelijke inspanning.
 - Te veel buikvet verhoogt de kans op hart- en vaatziekten, diabetes en kanker.
 - Door met je voedsel minder energie binnen te krijgen dan je verbruikt, val je af.
 - Door je tailleomtrek te meten en de Body Mass Index (BMI) te gebruiken, kun je bepalen of je een gezond gewicht hebt.
 - Bij een te lage (ondergewicht) of te hoge (overgewicht) BMI heb je een grotere kans op ziekten.
- Wit vetweefsel (buikvet): opslag van energie, isolatie, bescherming en ondersteuning van organen.
- Bruin vetweefsel: produceren van lichaamswarmte door de verbranding van vetzuren en glucose.
- Cholesterol wordt in je bloed vervoerd door lipoproteïnen.
 - Cholesterol is een belangrijke bouwstof en je kunt niet zonder.
- VLDL (Zeer (very) Lage Dichtheid Lipoproteïne): lipoproteïnen die bestaan uit de cholesterol die je lever aanmaakt en andere vetten.
 - VLDL wordt afgegeven aan het bloed.
 - De cellen in weefsels nemen de meeste vetten uit VLDL op.
- LDL (Lage Dichtheid Lipoproteïne) ontstaat uit VLDL en bevat voornamelijk cholesterol.
 - Het merendeel van het LDL wordt opgenomen in de lever, bijniere en teelballen of eierstokken.

- Overtollige LDL-cholesterol in het bloed kan zich afzetten tegen beschadigingen aan de binnenwand van de bloedvaten, waardoor deze kunnen dichtslibben en hart- en vaatziekten kunnen ontstaan.
- Verzadigde vetzuren verhogen het LDL-gehalte.
- HDL (Hoge Dichtheid Lipoproteïne) voert LDL uit het bloed af naar de lever waar het wordt afgebroken.
 - HDL verlaagt het cholesterolgehalte van het bloed.
 - Onverzadigde vetzuren verhogen het HDL-gehalte.
- De cholesterol-HDL-ratio bepaalt of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten.
 - Het totale cholesterolgehalte delen door het HDL.
 - Bij een ratio kleiner dan 4 is er geen verhoogde kans op hart- en vaatziekten.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, selecteren en verwerken van informatie;
- geven van een beargumenteerde mening;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, overzichtelijk weergeven en analyseren van data;
- verklaren hoe voeding invloed heeft op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen en organismen (systeemdenken);
- analyseren welke invloed voeding heeft op de gezondheid;
- vorm-functiedenken op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen, organismen, populaties, ecosystemen en biosfeer;
- beredeneren van gevolgen van veranderingen in een levensgemeenschap of ecosysteem (ecologisch denken).

Examentrainer

COELIAKIE, EEN ONBEKENDE VOLKSZIEKTE

Bron: pilotexamen vwo 2015-1, vraag 7 en 8.

Coeliakie is een aandoening aan de dunne darm die het gevolg is van overgevoeligheid voor gluteneiwitten uit tarwe en andere granen. De ziekte coeliakie wordt vaak niet herkend. De Nederlandse Coeliakie Vereniging attendeert huisartsen op 'verborgen' patiënten door middel van een folder. Een bewerkt fragment daaruit is in afbeelding 1 weergegeven.

Bepaalde gluteneiwitten, de gliadines, zijn relatief bestand tegen enzymatische afbraak. Bij coeliakie ontstaat een afweerreactie tegen gliadines, met als gevolg een ontsteking van de dunne darm.

▼ Afb. 1

Herkent u de volgende symptomen?

- ☐ chronische darmklachten?
↓
of
☐ onbegrepen bloedarmoede?
↓
of
☐ ongewenst gewichtsverlies?
↓
of
☐ onbegrepen moeheid?
↓
of
☐ osteoporose?
↓
of
☐ bij kinderen: achterblijvende groei?

Wilt u zeker zijn dat uw cliënt geen coeliakie heeft: neem deze feiten dan bloedserieus.

De meeste eiwitten uit de voeding worden in het verteringsstelsel volledig verteerd. Drie organen van het verteringsstelsel zijn de maag, de alvleesklier en de dunne darm.

- 2p 1 Welk van deze organen produceert of welke produceren (pro-)enzymen met een functie bij de eiwitvertering?
- A alleen de maag
 - B alleen de alvleesklier
 - C alleen de dunne darm
 - D alleen de maag en de alvleesklier
 - E alleen de alvleesklier en de dunne darm
 - F de maag, de alvleesklier en de dunne darm

Als de ontstekingsreactie aanhoudt, sterven darmwandcellen af en verdwijnen er darmvlokken (vlokatrofie). Mensen met coeliakie kunnen als gevolg hiervan na het eten van gluten chronische darmklachten krijgen, zoals aanhoudende diarree. In het fragment uit de folder (zie afbeelding 1) staan nog vijf andere symptomen die het gevolg kunnen zijn van coeliakie.

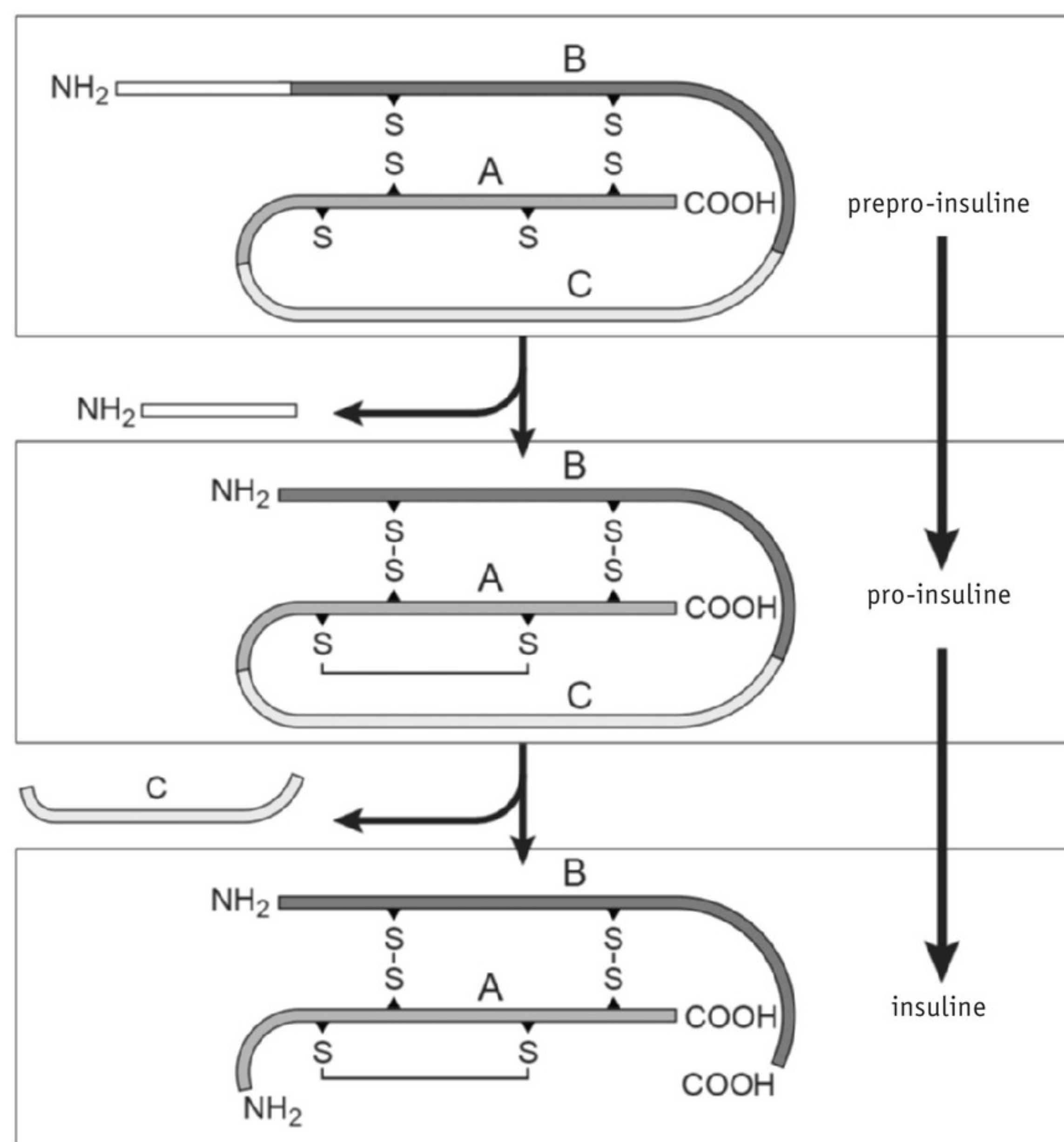
- 2p 2 Kies twee van de andere symptomen en licht bij beide symptomen toe hoe deze als gevolg van coeliakie kunnen ontstaan.

SUIKERZIEKTE

Bron: bezemexamen vwo 2016-1, vraag 9, 11 en 12.

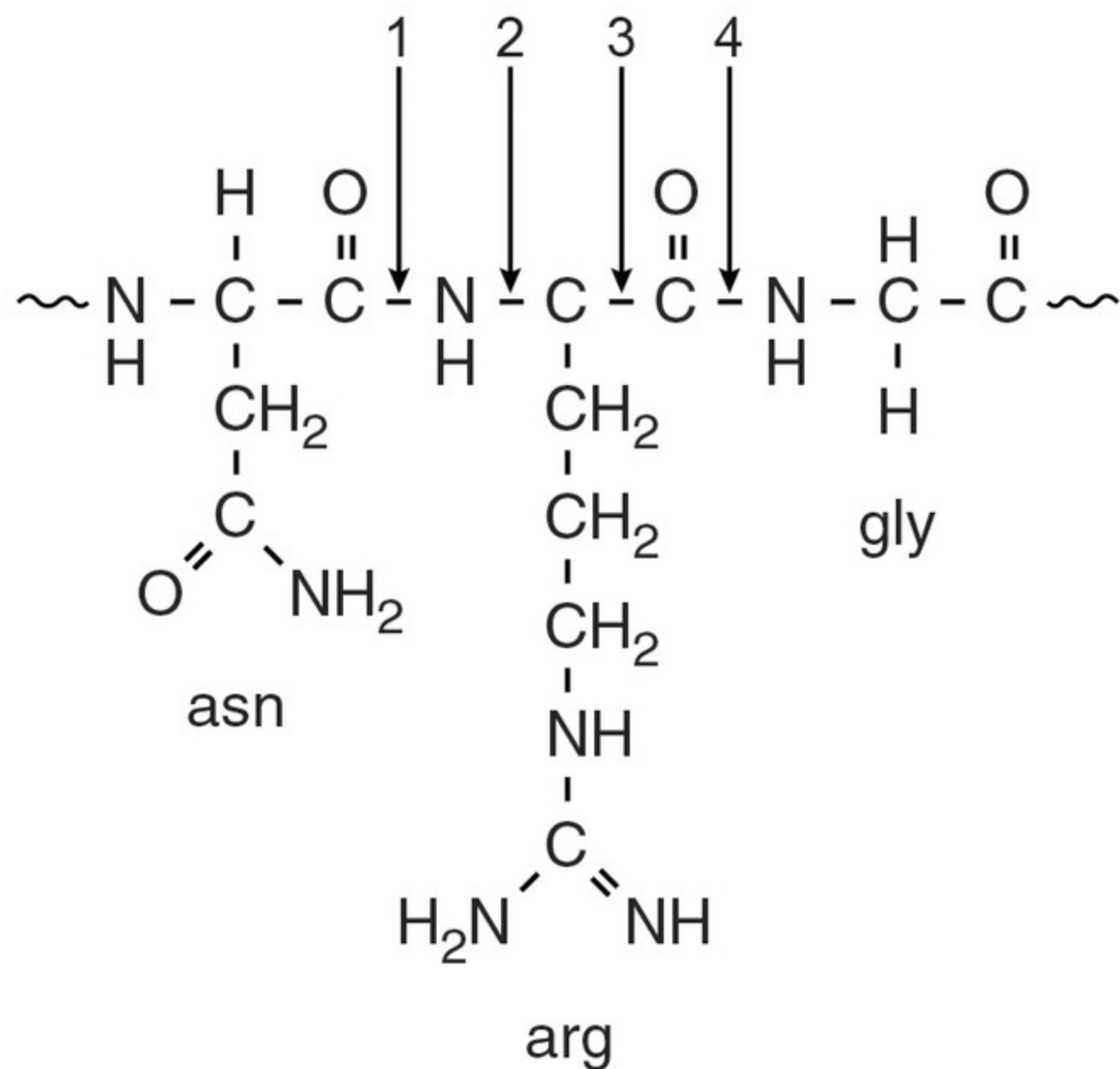
Als de β -cellen in de alvleesklier te weinig of geen insuline produceren, kan suikerziekte ontstaan. De vorming van insuline verloopt in een groot aantal stappen, waarvan er drie in afbeelding 2 zijn weergegeven.

▼ Afb. 2



Bij de vorming van insuline uit pro-insuline wordt het koppelstuk, het C-peptide, enzymatisch afgesplitst van de A- en de B-keten. In afbeelding 3 zijn met vier pijlen plaatsen aangegeven waar de splitsing van de A-keten en het C-peptide zou kunnen plaatsvinden.

▼ Afb. 3

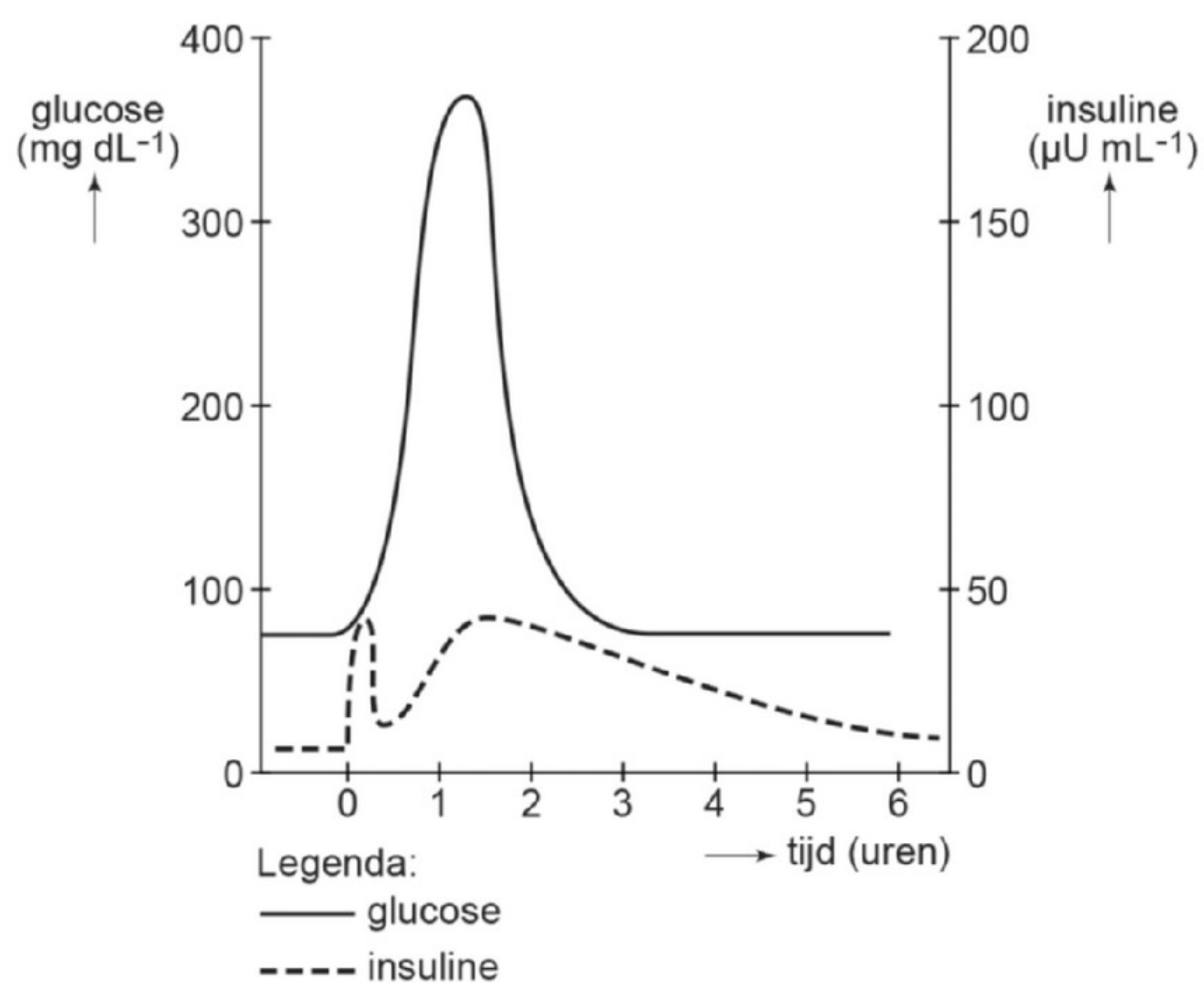


2p 3 Welke van deze vier mogelijkheden is de juiste?

- A plaats 1
- B plaats 2
- C plaats 3
- D plaats 4

Bij een onderzoek naar de werking van de alvleesklier wordt aan een proefpersoon op tijdstip 0 door middel van een injectie glucose in het bloed toegediend. Vervolgens wordt bepaald hoeveel glucose en hoeveel insuline wordt aangetroffen in het bloedplasma. Het resultaat van dit experiment staat weergegeven in het diagram van afbeelding 4.

▼ Afb. 4



Na toediening van de glucose worden twee pieken in insulineconcentratie in het bloedplasma waargenomen. De eerste piek binnen 2 tot 5 minuten na toediening, de tweede piek duurt voort zolang de glucoseconcentratie in het bloedplasma verhoogd is.

2p 4 Geef een verklaring voor het ontstaan van elk van de twee pieken.

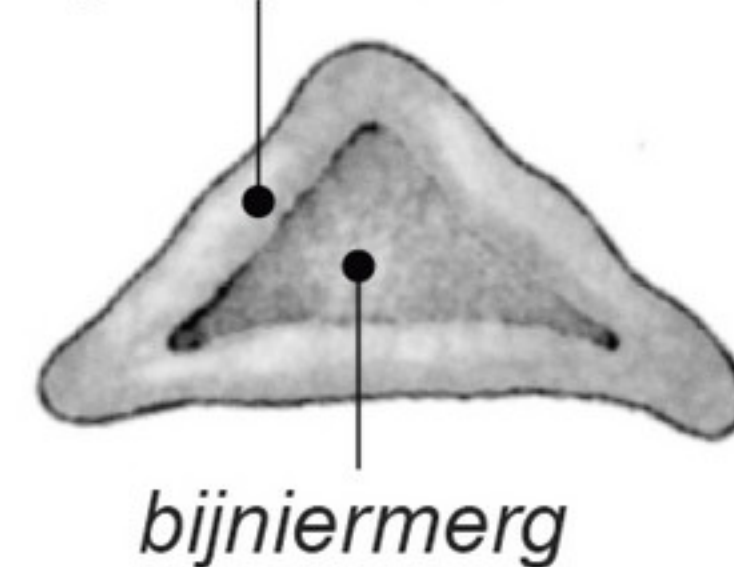
Bij de regeling van het bloedglucosegehalte spelen naast de alvleesklier ook de hypothalamus, de hypofyse en de bijnieren een rol. In afbeelding 5 is een aanzet gegeven voor een schema waarin de invloed van de bijnierhormonen adrenaline en cortisol op het bloedglucosegehalte wordt weergegeven en de rol van hypothalamus en hypofyse daarbij.

4p 5 Maak het schema compleet. Doe het als volgt:

- Geef door middel van pijlen aan hoe via hypothalamus en hypofyse de hormoonproductie van de bijnier wordt beïnvloed.
- Geef door middel van pijlen aan hoe de regulatie van het bloedglucosegehalte door adrenaline verloopt en hoe de regulatie door cortisol verloopt.
- Schrijf bij elke ingetekende pijl de naam van het hormoon en geef aan of de pijl stimulering (+) of remming (–) aangeeft.

▼ Afb. 5

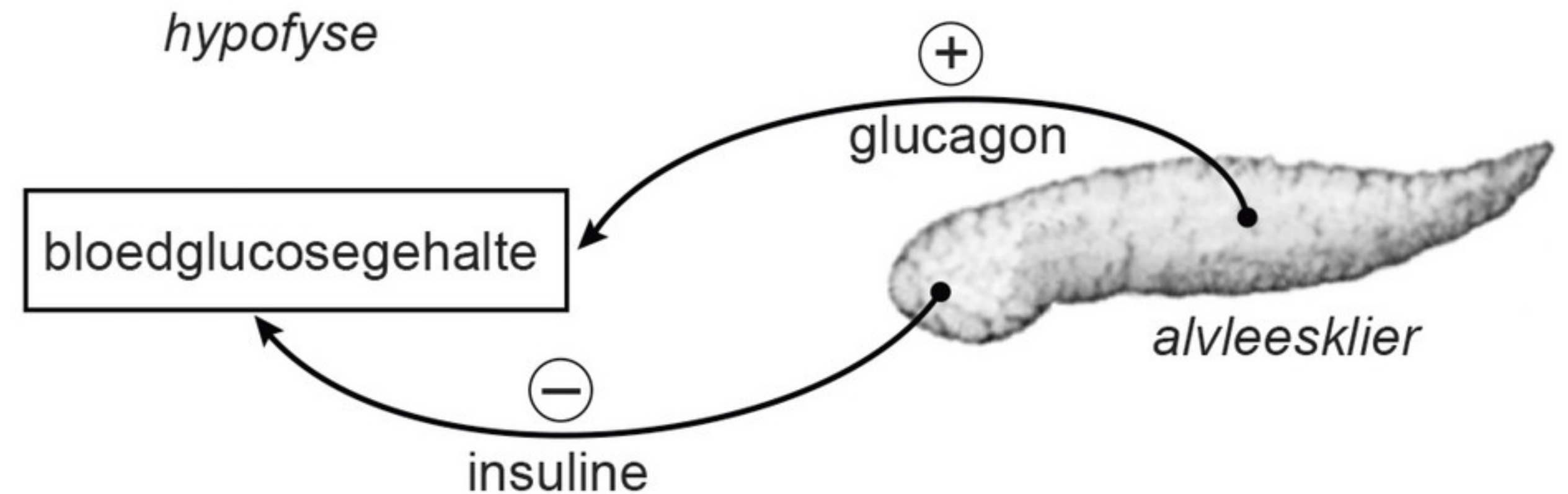
bijnierschors



hypothalamus



hypofyse



2 Transport

Een samenleving kan niet zonder transport. Water, elektriciteit, gas, levensmiddelen en afvalstoffen worden via wegen en leidingen aan- en afgevoerd. Bij grotere organismen is dat niet anders. Organen zijn met elkaar verbonden door leidingen en leidinkjes die stoffen en energie transporteren. In dit thema leer je over de bouw en werking van transportsystemen in organismen.

ONTDEKKEN

In koelen bloede?	62
-------------------	----

BASISSTOF

1 Transportsystemen	64
2 Het hart	71
3 Het bloedvatenstelsel	79
4 Het bloed	90
5 Weefselvloeistof en lymfe	97

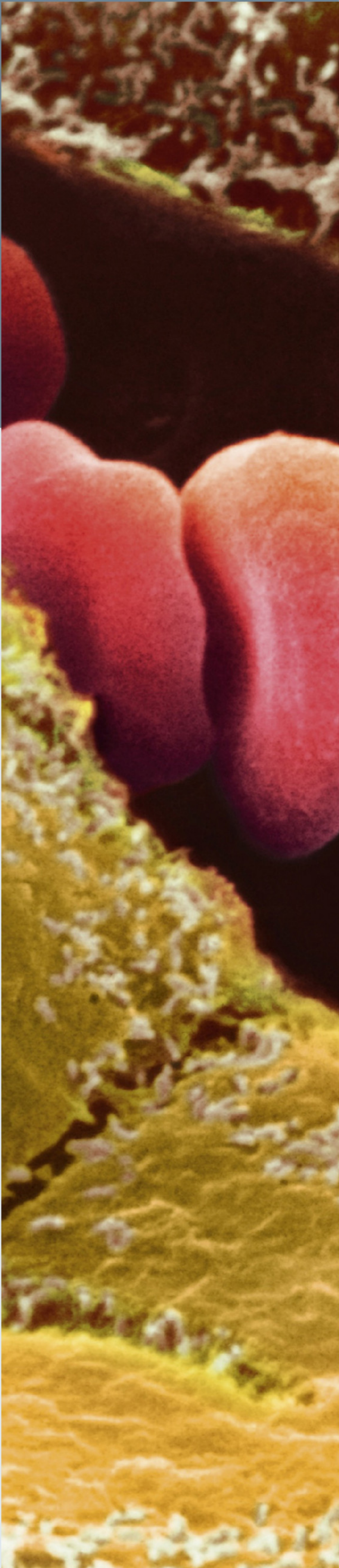
SAMENHANG

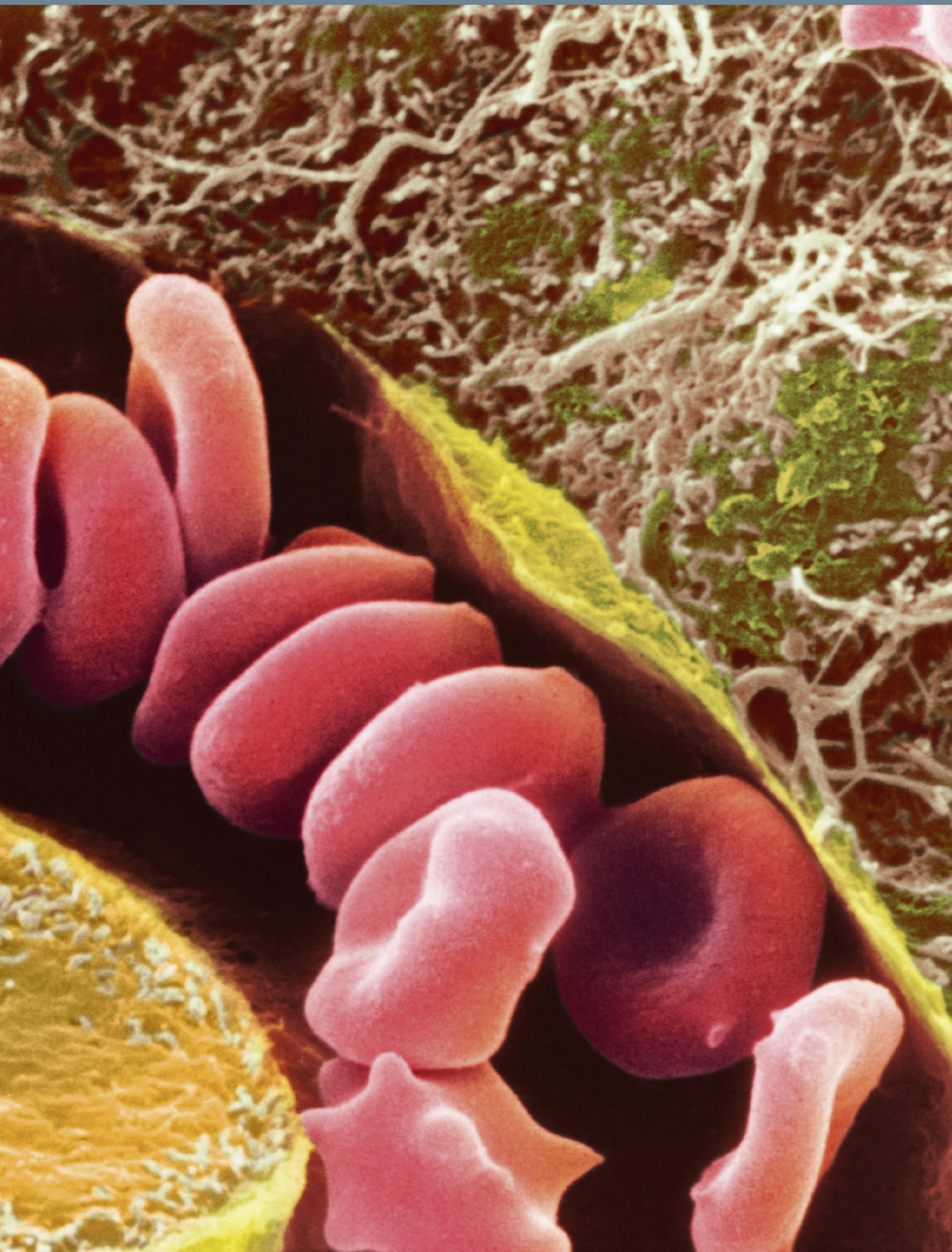
Blozen maakt aantrekkelijk	102
----------------------------	-----

PRACTICA	104
-----------------	-----

SAMENVATTING	106
---------------------	-----

EXAMENTRAINER	110
----------------------	-----







In koelen bloede?

►► BASISSTOF 5

Strafprocessen hebben in Nederland doorgaans een inquisitoir karakter. Dat wil zeggen dat rechter en openbaar aanklager uit zijn op waarheidsvinding. De rol van de advocaat bestaat uit het blootleggen van de zwakke punten in deze waarheidsvinding.

Volgens advocaat Gerard Spong is deze gang van zaken achterhaald. Strafprocessen zouden meer accusatoir moeten zijn, stelt hij, zoals dat in Amerika het geval is. Daarbij gaat het om een botsing van meningen: officier van justitie en verdediging proberen de rechter te overtuigen van *hun* versie van de waarheid. Daarbij is veel geoorloofd, zolang het maar binnen de regels van de wet blijft.

De partijen

Er zijn twee partijen: het Openbaar Ministerie (OM) en advocatenkantoor Van Leer. Beide maken gebruik van getuige-deskundigen. De getuige (à charge) van het OM is afkomstig van het Erasmus Medisch Centrum, afdeling Klinische virologie, de getuige (à décharge) van het advocatenkantoor van het Tropencentrum AMC. Ga uit van de volgende casus.

De casus

De bekende zakenman-miljonair Howard Hoeksema leidt een teruggetrokken bestaan in zijn villa in Wassenaar. Al zeven jaar is hij niet in het openbaar gezien. De zakenman heeft namelijk een ernstige vorm van hemofilie (bloederziekte), een ziekte waarbij het stollingsmechanisme onvoldoende werkt. Een kleine wond kan al leiden tot grote problemen. Volgens ingewijden is zijn villa geheel ingericht met zachte materialen, om hem tegen verwondingen te beschermen. Bezoek ontvangt Hoeksema zelden of nooit. Zelfs de post wordt gecontroleerd door een bediende.

De rijke kluizenaar heeft één grote passie: hij verzamelt orchideeën. Zijn verzameling omvat de mooiste orchideeën ter wereld. Slechts één orchidee heeft hij nog niet: de Rothschilds slipperorchidee (*Paphiopedilum rothschildianum*), een van de zeldzaamste orchideeën ter wereld, die alleen voorkomt op 500–1200 meter hoogte op de Kinabuluberg in Noord Borneo. Het is ook de duurste plant ter wereld. Eén exemplaar levert € 5.000 op.

‘Strafprocessen zouden meer accusatoir moeten zijn.’

Op een dag krijgt de zakenman de plant opgestuurd. De afzender is onbekend. Vijf dagen later wordt Howard Hoeksema gevonden in zijn orchideeënkas. Dood. Blauwe plekken wijzen erop dat hij gevallen is. Uit het onderzoek van de forensische dienst blijkt dat Hoeksema dengue had. In de kas zijn inderdaad Aziatische tijgermuggen gevonden, die deze ziekte verspreiden. De bron is de Rothschilds slipperorchidee. In het water tussen plantenresten hangen aan het wateroppervlak larven afkomstig van de Aziatische tijgermug.

De forensische dienst denkt dat de combinatie van dengue en hemofilie de zakenman fataal is geworden. Mogelijk is Hoeksema in zijn kas flauwgevallen en daarna overleden. Het OM vermoedt echter dat iemand met opzet Hoeksema heeft willen vermoorden, door hem de orchidee met daarin de voor hem levensgevaarlijke muggen toe te sturen. In verband daarmee is een verdachte aangehouden.

▼ **Afb. 1** Rothschilds slipperorchidee.



opdrachten

Het strafproces dat op deze zaak volgt, wordt gevoerd volgens de accusatoire methode. De bedoeling is dat beide partijen een eigen versie van de waarheid presenteren, om daarmee de rechter te overtuigen. Het OM gaat ervan uit dat de combinatie dengue en hemofilie dodelijk is en dat de verdachte dat had kunnen weten. Volgens het advocatenkantoor is die koppeling geenszins aangetoond. Iemand die dengue heeft, hoeft daar niet aan te overlijden, ook al heeft hij hemofilie. Beide partijen beroepen zich op getuige-deskundigen. De getuige-deskundigen van het Erasmus MC zijn opgeroepen door het OM, die van het AMC door het advocatenkantoor. Jij maakt deel uit van een van beide teams. Jullie werken in tweetallen of kleine groepjes.

- 1 In het eerste deel van jullie getuigenverklaring leggen jullie uit wat dengue is. Zoek dit uit op internet.
- 2 In het tweede deel ga je uitvoerig in op wat er in het lichaam gebeurt als iemand dengue heeft. Gebruik de volgende termen: *bloedplasma – capillaire permeabiliteit – colloïd-osmotische druk – filtratiedruk – haarvaten – lymfe – weefselvloeistof*. Je kunt hierbij tekeningen maken of afbeeldingen van internet gebruiken, bijvoorbeeld in een presentatie.
- 3 In het derde deel vertel je welke sporen op het lichaam van het slachtoffer zijn gevonden die wijzen op dengue. Zijn er andere sporen die een licht kunnen werpen op de doodsoorzaak?
- 4 In het vierde deel behandel je wat de doodsoorzaak is. Daarbij komt het team van het Erasmus MC tot de conclusie dat dengue juist door de combinatie met hemofilie heeft geleid tot de dood van het slachtoffer. Het team van het AMC concludeert dat wetenschappelijk niet is aangetoond dat dengue en hemofilie een dodelijke combinatie vormen. Het slachtoffer had weliswaar dengue, maar is overleden door een ongelukkige samenloop van omstandigheden.
- 5 Beide teams leggen hun verklaringen af. Na de presentaties reageer je op elkaar. Probeer elkaars verklaring onderuit te halen. De rechter (je docent?) bepaalt ten slotte of de verdachte schuldig wordt bevonden.

Leerdoelen

- Je kunt verschillende circulatiesystemen bij eukaryoten herkennen en de functies van een bloedsomloop benoemen.
- Je kunt de embryonale bloedsomloop van de mens beschrijven en verschillen en overeenkomsten aangeven met de bloedsomloop na de geboorte.

1 Transportsystemen

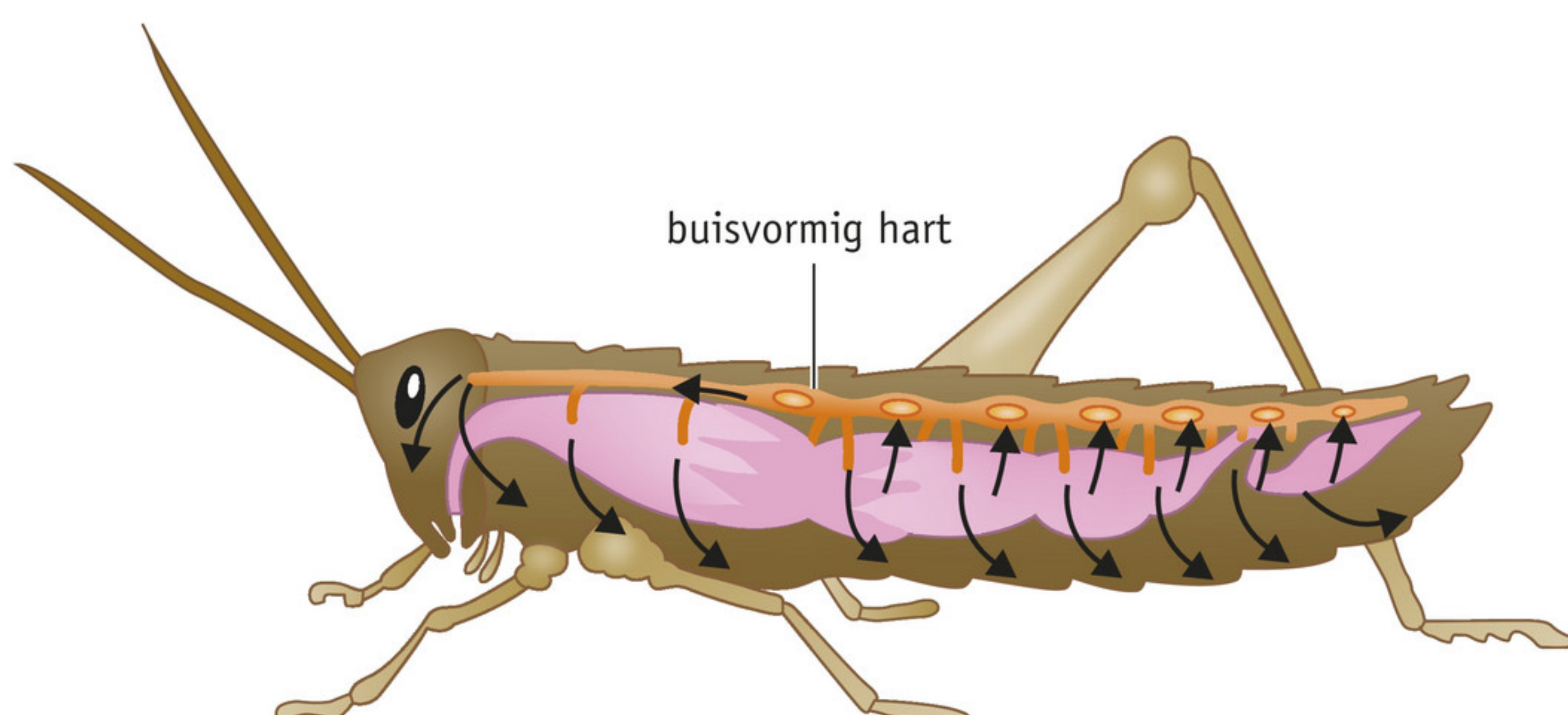
Bij grotere planten en dieren wordt water met opgeloste stoffen vervoerd door buizenstelsels. Bij dieren gaan voedingsstoffen en afvalstoffen door dezelfde buizen. De bouw van het buizenstelsel past bij de levenswijze van het dier.

CIRCULATIESYSTEMEN BIJ DIEREN

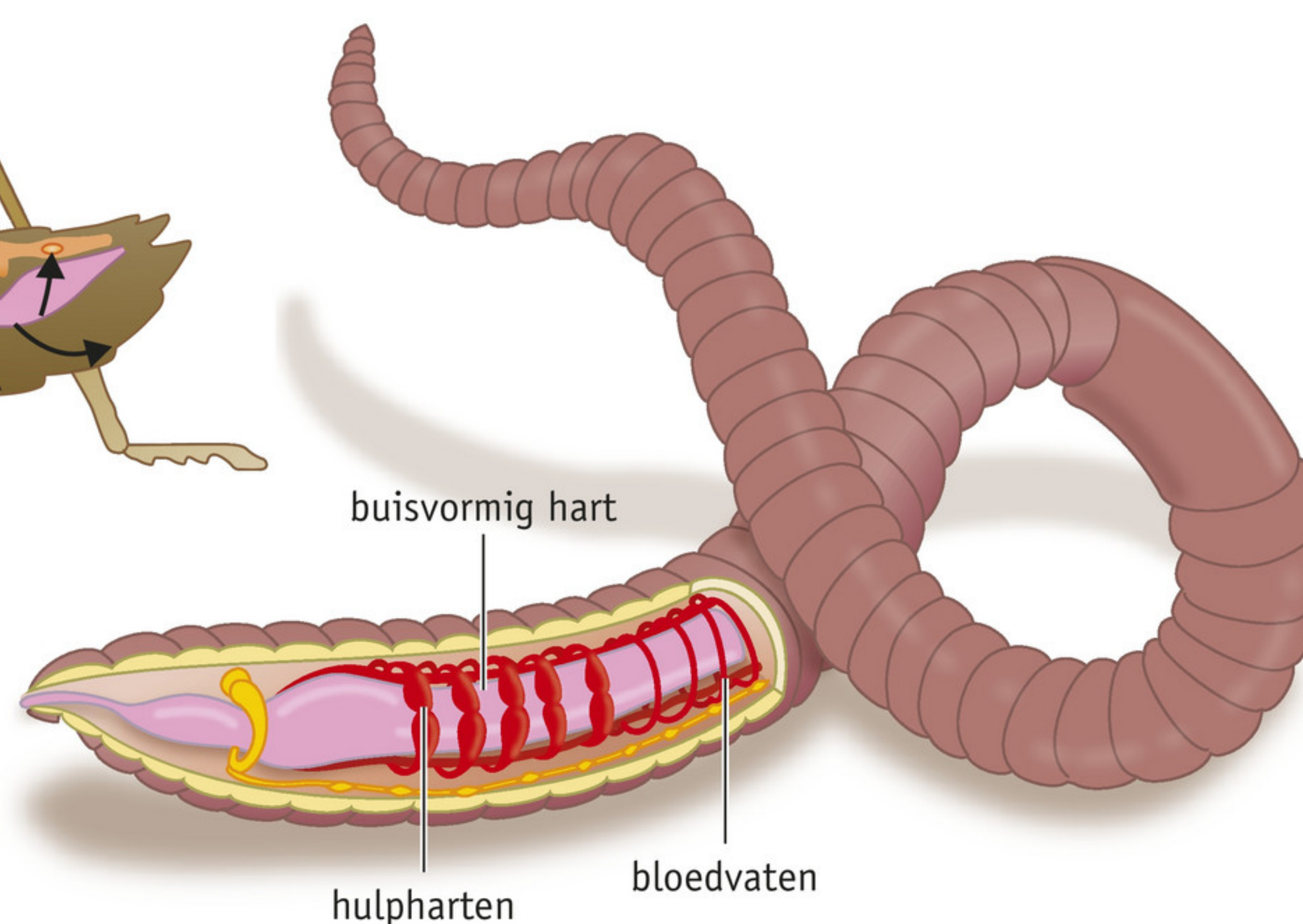
Bij eencellige organismen en bij organismen die uit enkele cellagen zijn opgebouwd vindt transport van stoffen plaats over kleine afstanden, onder andere door diffusie. Grotere planten en dieren hebben een vatenstelsel dat bestaat uit een netwerk van buisjes. Bij planten vindt transport plaats in twee richtingen. Bij de meeste dieren verloopt het transport circulair: een vloeistof met daarin opgeloste stoffen stroomt rond. Het transportsysteem is voorzien van een 'pomp' (het hart).

Geleedpotigen hebben een **open circulatiesysteem** en een buisvormig hart dat de lichaamsvloeistof rond de organen laat bewegen (zie afbeelding 1.1). Andere diersoorten hebben een **bloedsomloop**. Dit is een gesloten transportsysteem waarin het bloed is gescheiden van de andere lichaamsvloeistoffen. Een hart pompt het bloed door de bloedvaten. In een gesloten systeem kan het transport van stoffen effectiever en over grotere afstanden plaatsvinden dan bij een open circulatiesysteem. Sommige diersoorten hebben een bloedsomloop met meerdere harten, bijvoorbeeld regenwormen (zie afbeelding 1.2).

▼ **Afb. 1** Transportsystemen bij dieren.



1 open systeem: circulatiesysteem met buisvormig hart bij een sprinkhaan

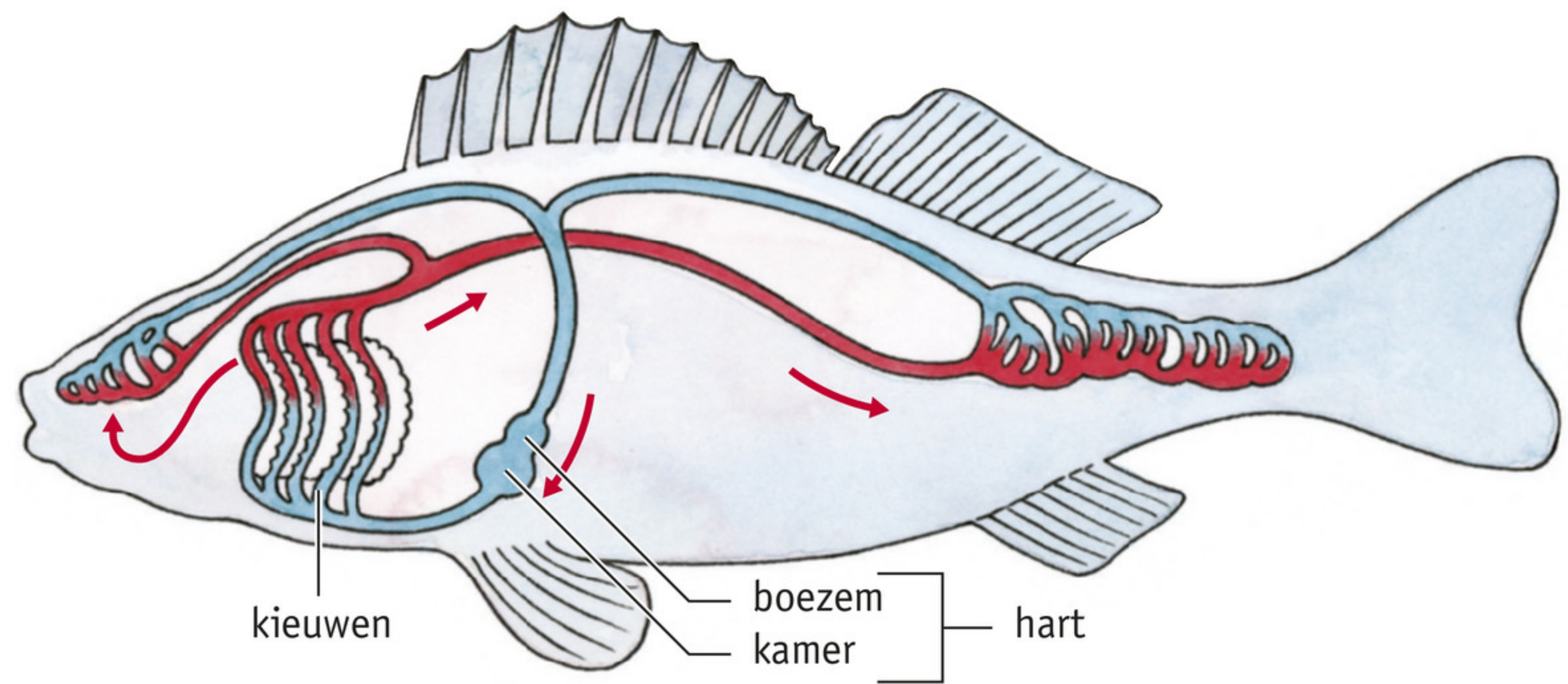


2 gesloten systeem: bloedsomloop met hulpharten bij een regenworm

DE BLOEDSOMLOOP

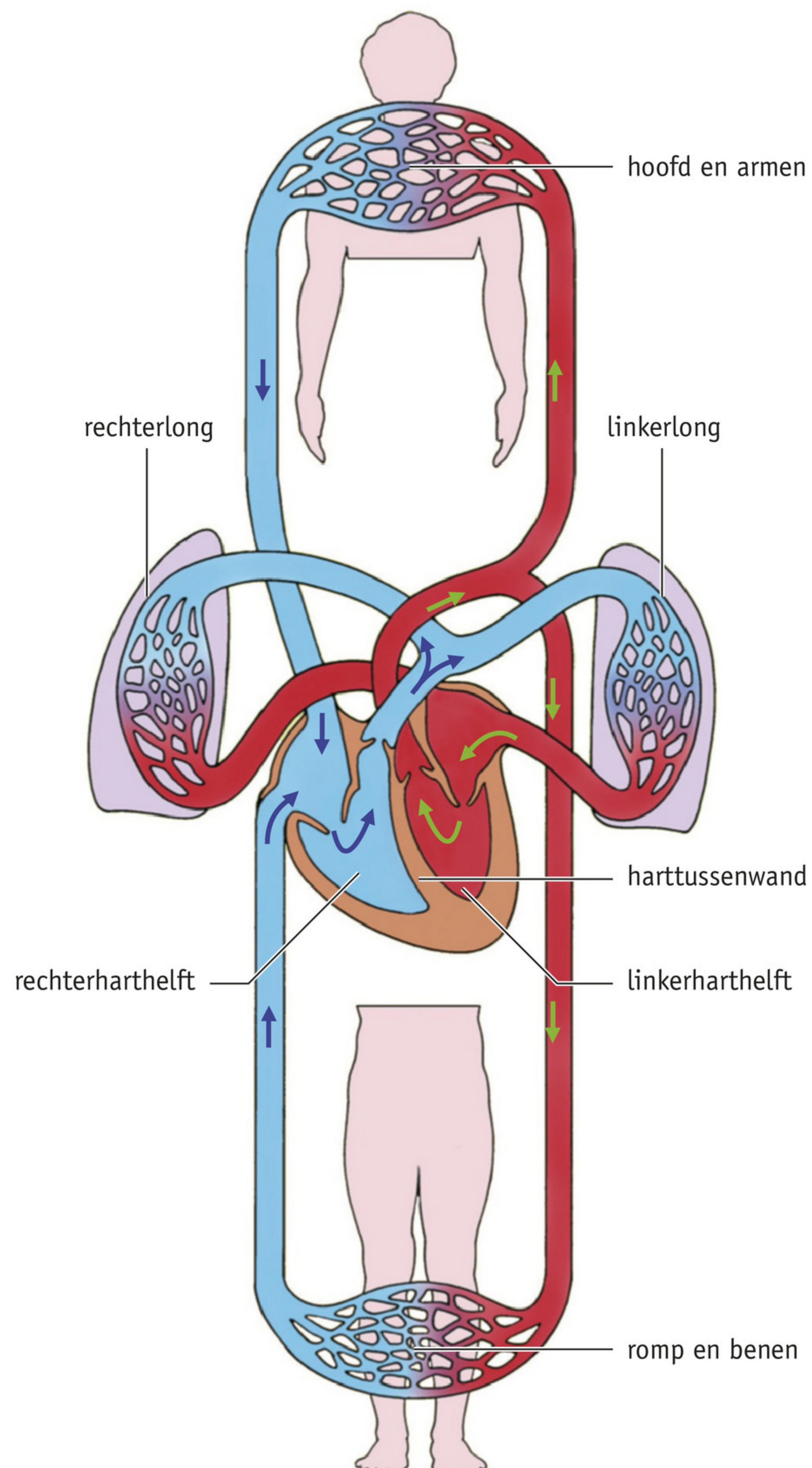
Gewervelde dieren hebben een bloedsomloop. Bij vissen stroomt het bloed vanuit het hart eerst naar de kieuwen en daarna naar de andere organen van het lichaam (zie afbeelding 2). Vissen hebben een **enkelvoudige bloedsomloop**: per omloop stroomt het bloed één keer door het hart. Het hart van een vis bestaat uit een boezem en een kamer. Het bloed dat van de organen naar het hart stroomt, verzamelt zich in de **boezem (atrium)**. De boezem pompt het bloed naar de **kamer (ventrikel)**. De kamer pompt het bloed naar de kieuwen.

- **Afb. 2** Enkelvoudige bloedsomloop bij een vis.



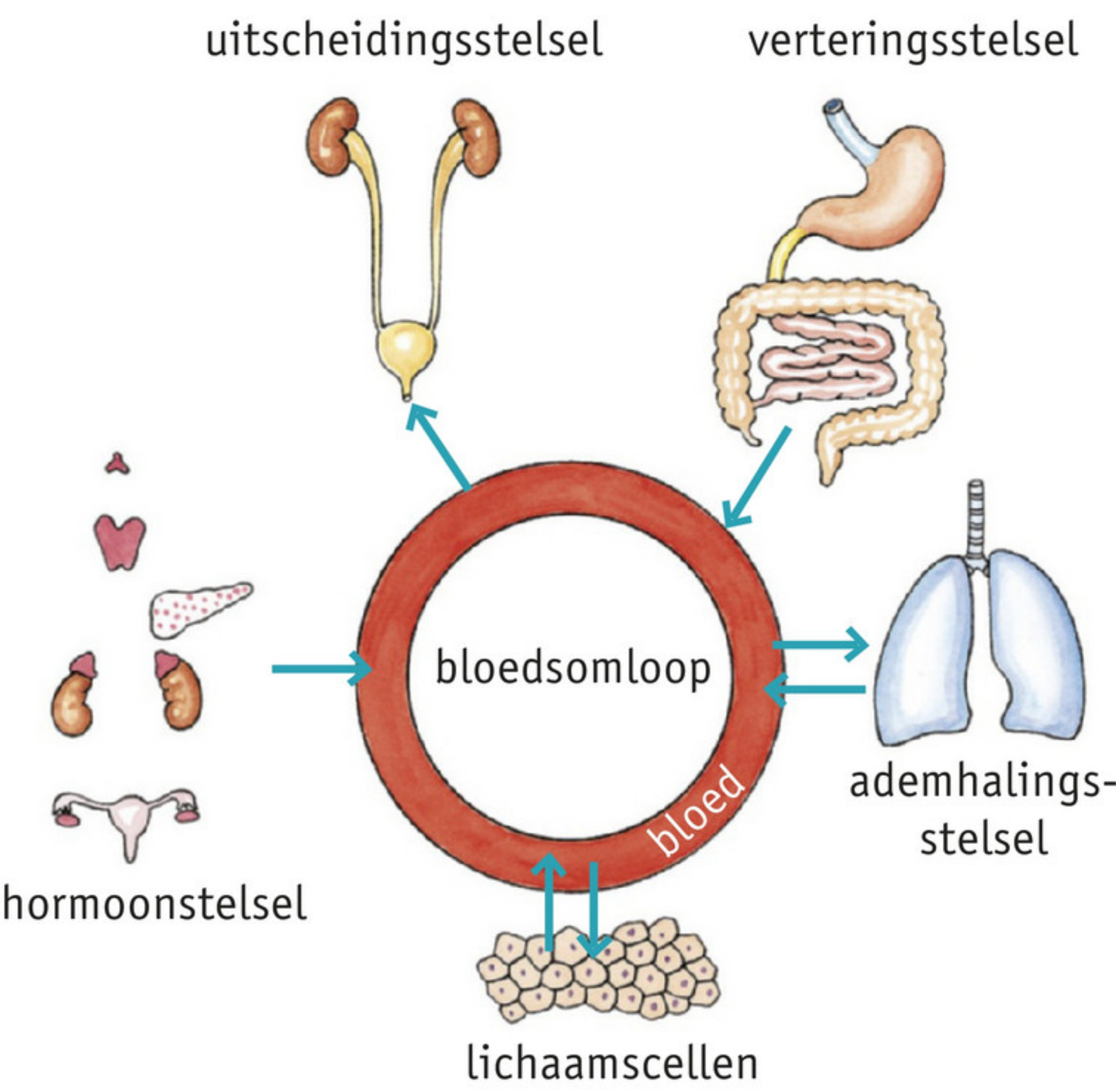
In afbeelding 3 zie je de bloedsomloop van de mens. Het roodgekleurde deel bevat zuurstofrijk bloed en het blauwgekleurde deel bevat zuurstofarm bloed. Het hart bestaat uit twee gescheiden helften: een **linkerharthelft** en een **rechterharthelft**.

- **Afb. 3** Dubbele bloedsomloop van de mens.



Let erop dat afbeeldingen van het bloedvatenstelsel of van het hart steeds in vooraanzicht zijn getekend (de linkerharthelft zie je dus rechts in de tekening). De rechterharthelft pompt het bloed naar beide longen. Vanuit de longen stroomt het bloed naar de linkerharthelft. Dit deel van de bloedsomloop heet de **kleine bloedsomloop**. Het bloed neemt daarbij zuurstof op en geeft koolstofdioxide af. De linkerhelft van het hart pompt het bloed vervolgens door het lichaam. Het bloed stroomt door alle organen en weer terug naar de rechterharthelft. Dit deel van de bloedsomloop heet de **grote bloedsomloop**. In de grote bloedsomloop worden zuurstof en voedingsstoffen afgegeven aan de cellen, en koolstofdioxide en andere afvalstoffen uit de cellen opgenomen in het bloed. Per omloop stroomt het bloed twee keer door het hart. De bloedsomloop bij de mens noem je daarom een **dubbele bloedsomloop**. Met een dubbele bloedsomloop kan een hogere druk worden bereikt dan met een enkelvoudige bloedsomloop. De bloedsomloop zorgt voor homeostase (een dynamisch evenwicht in het interne milieu) door in het bloed opgeloste stoffen door het lichaam te transporteren en door de warmte die vrijkomt bij dissimilatie te verdelen over het lichaam (zie afbeelding 4).

► **Afb. 4** De rol van de bloedsomloop voor een stabiel intern milieu (homeostase).



Organisme	Circulatie-systeem	Hart

opdrachten

- Gedurende de evolutie zijn verschillende circulatiesystemen ontstaan. Noteer in de eerste kolom in volgorde van toenemende effectiviteit van de bloedsomloop: *mens – regenworm – sprinkhaan – vis*. Vul daarna de rest van de tabel in. Kies bij circulatiesysteem uit: *gesloten – open*. Kies bij hart uit: *buisvormig – kamers en boezems*.
- In afbeelding 4 is met pijlen de samenhang weergegeven tussen enkele orgaanstelsels en de functies van het bloed bij de mens.
 - Leid uit deze afbeelding vijf transportfuncties van de bloedsomloop af.
 - Een andere functie van de bloedsomloop is warmte verdelen over het lichaam.

In welke richting vindt warmtetransport tussen romp en ledematen meestal plaats? Licht je antwoord toe.
 - Voor homeostase moeten allerlei normwaarden in het lichaam worden gehandhaafd. Daarbij speelt de bloedsomloop een belangrijke rol. Noteer drie normwaarden waarbij de bloedsomloop betrokken is.

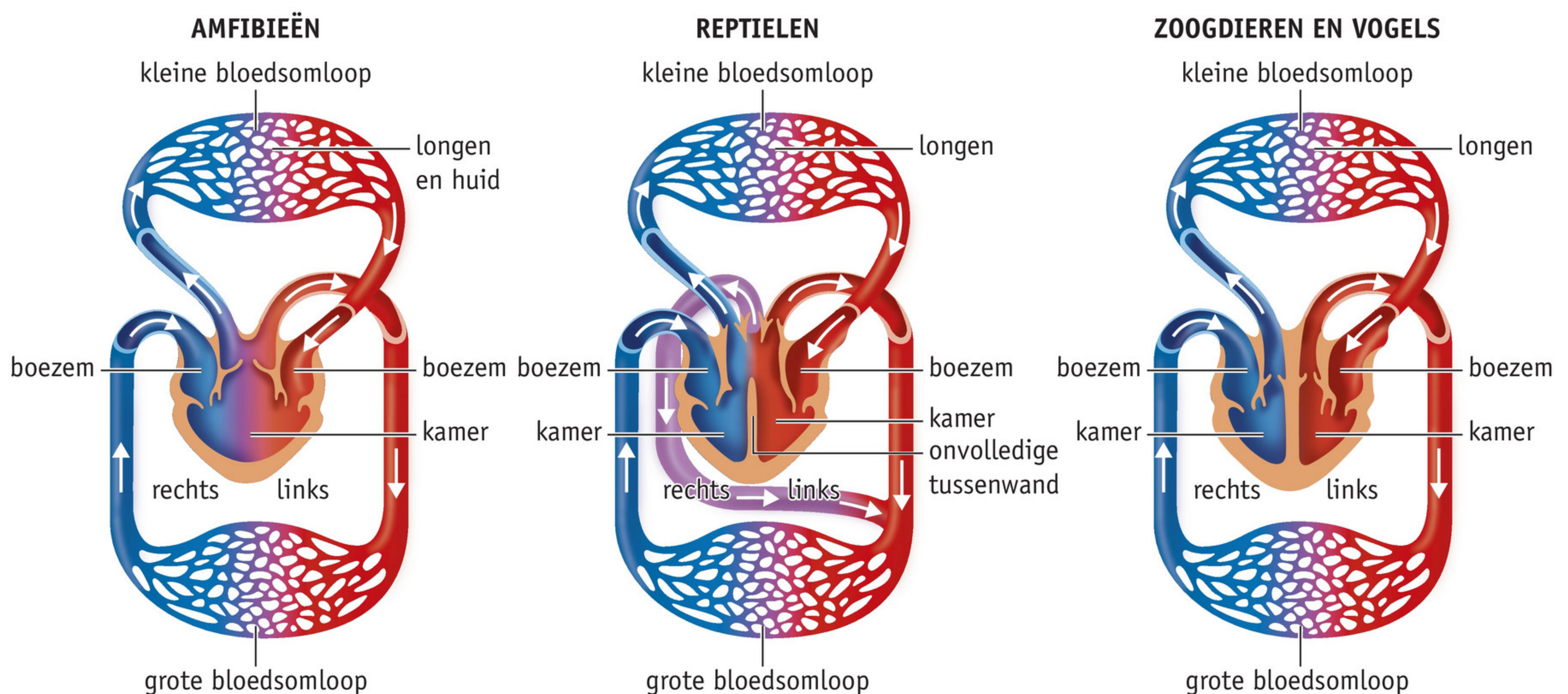
- 3 Het hart van een vis heeft een boezem en een kamer.
 - a Bevat de hartkamer van een vis zuurstofrijk of zuurstofarm bloed?
 - b Welke wand is bij een vissenhart het meest gespierd: de wand van de boezem of de wand van de kamer? Leg je antwoord uit.
- 4 Mensen en vissen hebben een gesloten bloedsomloop.
 - a Wat is daarvan het voordeel?
 - b Welk voordeel heeft een dubbele bloedsomloop boven een enkelvoudige bloedsomloop?
 - c Noteer twee verschillen tussen een sprinkhaan en een mens die een verschillende bouw van de circulatiesystemen noodzakelijk maken.

BLOEDSOMLOOP BIJ GEWERVELDE DIEREN

De ontwikkeling van de dubbele bloedsomloop gaat samen met het ontstaan van longen (zie afbeelding 5). Amfibieën hebben een **eenkamerhart**. Deze hartkamer perst een deel van het bloed vanuit het hart naar de longen en naar de huid. Daar wordt zuurstof opgenomen in het bloed. De rest van het bloed gaat via de lichaamsslagader (aorta) naar het lichaam.

Bij reptielen is het bloed in het hart grotendeels gescheiden door een tussenschot. Als het dier niet ademt, kan bloed vanuit beide helften van de kamer naar beide aorta's stromen. Als het dier wel ademt, is de druk in de longhaarvaten laag. Bovendien trekt het rechterdeel van het hart net iets eerder samen dan het linkerdeel. Daardoor gaat het grootste deel van het zuurstofarme bloed naar de longen. Zoogdieren en vogels hebben een hart met een gesloten tussenwand tussen de kamers en daardoor een volledig gescheiden dubbele bloedsomloop.

▼ **Afb. 5** Bloedsomloop bij drie groepen gewervelde dieren.



opdracht

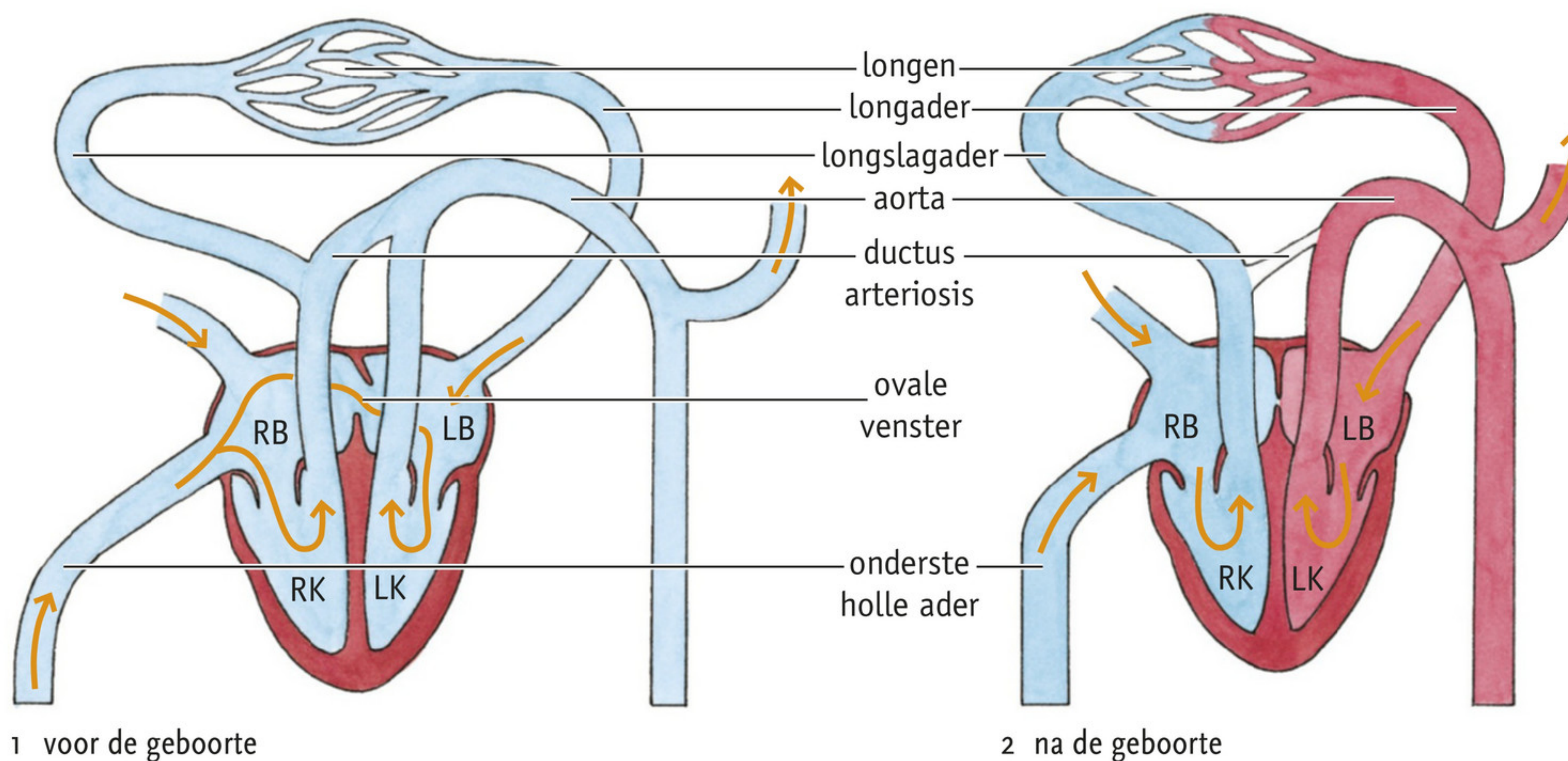
- 5 Harten van amfibieën, reptielen, zoogdieren en vogels hebben twee boezems.
 - a Geef hiervoor een verklaring.
 - b Leg uit dat zuurstofarm en zuurstofrijk bloed beter worden gescheiden in een reptielenhart dan in een amfibieënhart.
 - c Licht het verband toe tussen de bouw van de bloedsomloop bij de verschillende groepen gewervelden en de intensiteit van de stofwisseling.

EMBRYONALE BLOEDSOMLOOP

In de baarmoeder krijgt een foetus zuurstof en voedingsstoffen via de placenta. Voor de geboorte bevindt zich tussen de rechter- en linkerboezem een opening: het **ovale venster** (zie afbeelding 6.1). Een groot deel van het bloed stroomt via deze opening rechtstreeks van de rechterboezem naar de linkerboezem. Dit bloed wordt vervolgens door de linkerkamer in de aorta geperst. Daarnaast is er bij een foetus een verbinding tussen de longslagader en de aorta: de **ductus arteriosus** (of **ductus Botalli**). Het grootste deel van het bloed dat door de rechterkamer wordt weggepompt, komt via de ductus arteriosus in de aorta terecht.

Direct na de geboorte vullen de longen zich met lucht. Daardoor neemt de weerstand in de longhaartvaten af. Het bloed stroomt nu gemakkelijker vanuit de rechterkamer in de longbloedvaten. Hierdoor daalt de bloeddruk in de rechterkamer en ook in de rechterboezem. De bloeddruk in de linkerboezem stijgt juist door aanvoer van bloed vanuit de longen. Dit heeft tot gevolg dat het ovale venster door een klep wordt gesloten. Deze klep vergroeit spoedig met de harttussenwand. De ductus arteriosus verschrompelt en verdwijnt (zie afbeelding 6.2). Ook de resten van de navelstrengslagaders en navelstrengaders verschrompelen en verdwijnen.

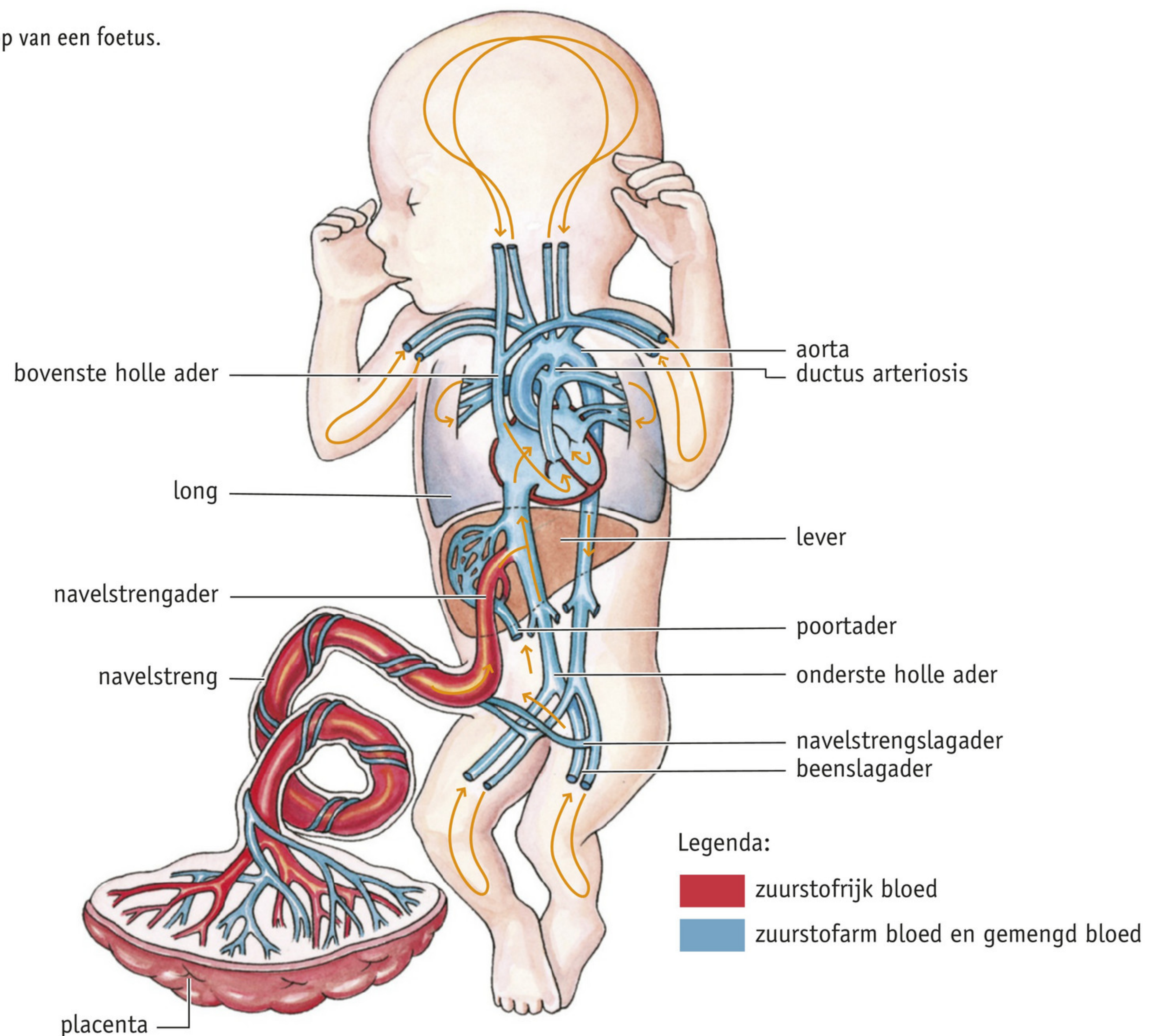
▼ **Afb. 6** Hart met aansluitende bloedvaten voor en na de geboorte.



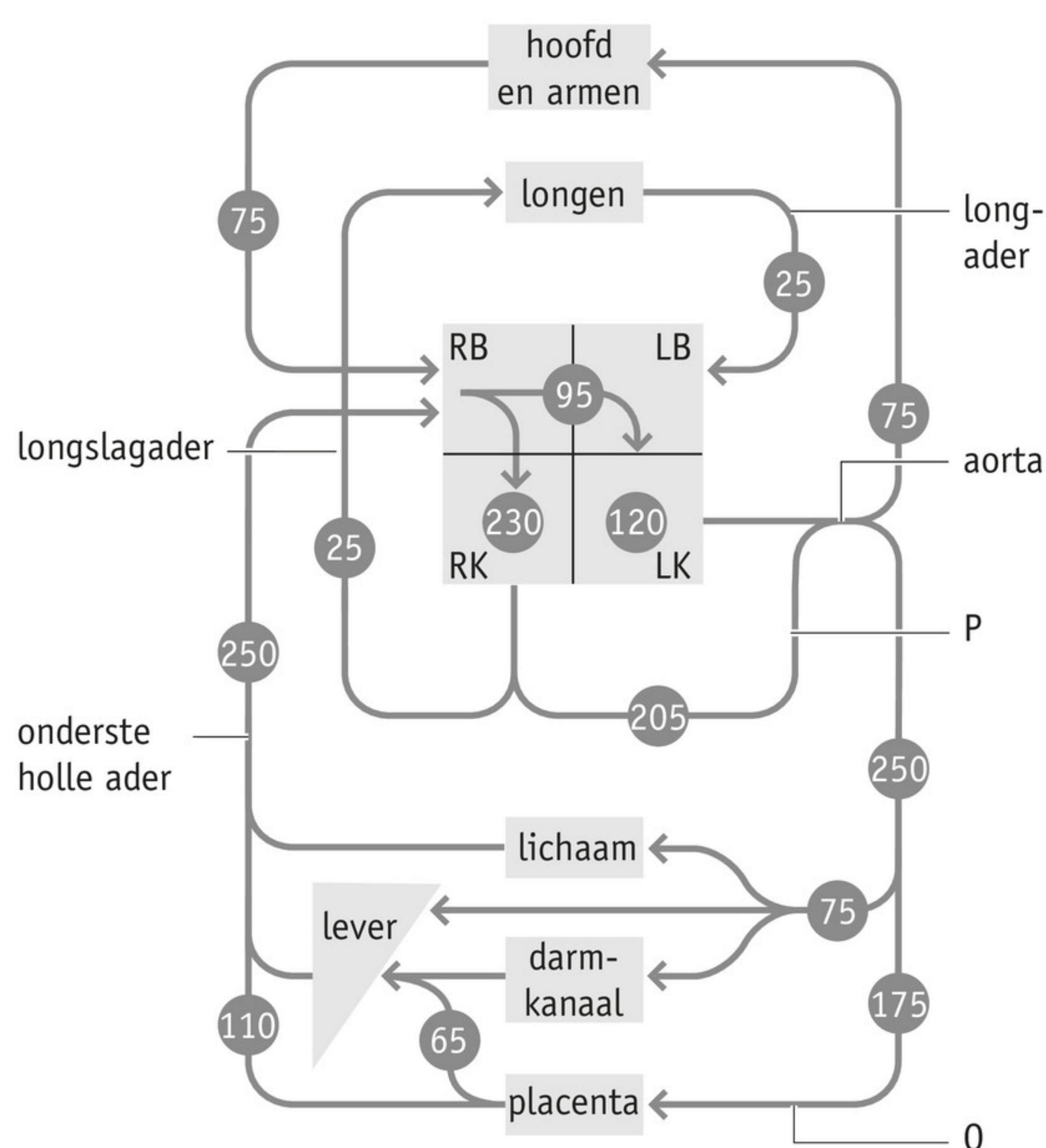
opdrachten

- 6 Afbeelding 6.1 en 7 geven de bloedsomloop van een foetus weer. Voor de geboorte stroomt maar weinig bloed vanuit de rechterkamer naar de longen. Het grootste deel stroomt naar de aorta.
 - a Beschrijf hoe het bloed voor de geboorte vanuit de rechterharthelft naar de aorta stroomt.
 - b Pas na de geboorte kun je echt spreken van een dubbele bloedsomloop. Leg dat uit.
 - c Welke bloedvaten kunnen bij een foetus bloed bevatten met een maximale zuurstofverzadiging? En welke met een minimale zuurstofverzadiging?

► **Afb. 7** De bloedsomloop van een foetus.



▼ **Afb. 8** Deel van de bloedsomloop van de mens.



7 Afbeelding 8 is een schematische weergave van de bloedsomloop bij een foetus. De getallen geven de bloedstroom aan door de desbetreffende bloedvaten in milliliter per kilogram (mL/kg) lichaamsgewicht per minuut.

- Hoe heet het bloedvat dat is aangegeven met P?
- Hoe heet het bloedvat dat is aangegeven met Q?
- Welke hartkamer pompt vóór de geboorte per hartslag de grootste hoeveelheid bloed weg?
- Welke hartkamer pompt na de geboorte per hartslag de grootste hoeveelheid bloed weg?
- Wanneer is de bloeddruk aan het begin van de aorta het hoogst: voor de geboorte of na de geboorte?
- Van de hoeveelheid bloed die het hart van de foetus per minuut verlaat, stroomt een bepaald percentage naar de longen.

Bereken welk percentage van het bloed naar de longen stroomt. Vergelijk dit percentage met het percentage dat na de geboorte naar de longen stroomt.

- 8 Bij sommige kinderen vergroeit na de geboorte de klep die het ovale venster afsluit niet goed. Er blijft dan bloed van de rechterboezem naar de linkerboezem stromen.
- a Wordt hierdoor het zuurstofgehalte van het bloed in de aorta hoger of lager? Leg je antwoord uit.
- b Het komt weleens voor dat na de geboorte de ductus arteriosus openblijft. Leg uit dat er dan meer bloed naar de longen gaat dan normaal.

CONTEXT

Leefwereld

- ▼ **Afb. 9** Nicholas Wegner (National Oceanic and Atmospheric Administration) met een opah.



Coele uitvinding maakt vis warmbloedig

Alle vissen zijn koudbloedig, behalve de opah (*Lampris guttatus*, zie afbeelding 9). Deze vis is opvallend actief in het koude water waarin hij rondzwemt. Ook in koud water houdt hij zijn temperatuur op peil.

De opah slaat voortdurend met zijn rode borstvinnen. Dit levert voldoende warmte op om zijn lichaam warm te houden. Door de intensievere stofwisseling kan hij sneller zwemmen en reageren. De opah besluipt zijn slomere prooien in diep koud water tussen de vijftig en driehonderd meter. Daarbij slaagt hij erin wel vijf graden warmer te blijven dan het water waarin hij zwemt. Dat levert de opah een groot voordeel op.

Door toepassing van het 'tegenstroomprincipe' voorkomt de opah afkoeling door bloed dat in contact komt met het koude water in de kieuwen. Hetzelfde principe wordt toegepast in de radiator van een auto en in een hoogrendementsverwarmingssysteem. Het tegenstroomprincipe is een 'coole' uitvinding van deze vis die daarmee zijn fitness vergroot.

opdrachten

- 9 a Wat maakt de opah zo bijzonder?
b Waardoor zijn de prooien van de opah slomer?
- 10 a Leg uit hoe het 'tegenstroomprincipe' ervoor zorgt dat de opah relatief weinig afkoelt door het koude bloed dat van de kieuwen komt.
b Leg uit dat het tegenstroomprincipe geen 'uitvinding' is van de vis.
- 11 De opah heeft voor een roofdier een opvallend bolle vorm.
a Leg uit waarom je bij een roofdier deze vorm niet zou verwachten.
b Welk voordeel zou de bolle vorm voor de opah kunnen hebben?

Leerdoelen

- Je kunt de delen van een hart noemen met hun functies en kenmerken.
- Je kunt de werking van het hart beschrijven en de relatie tussen bouw en werking uitleggen.

2

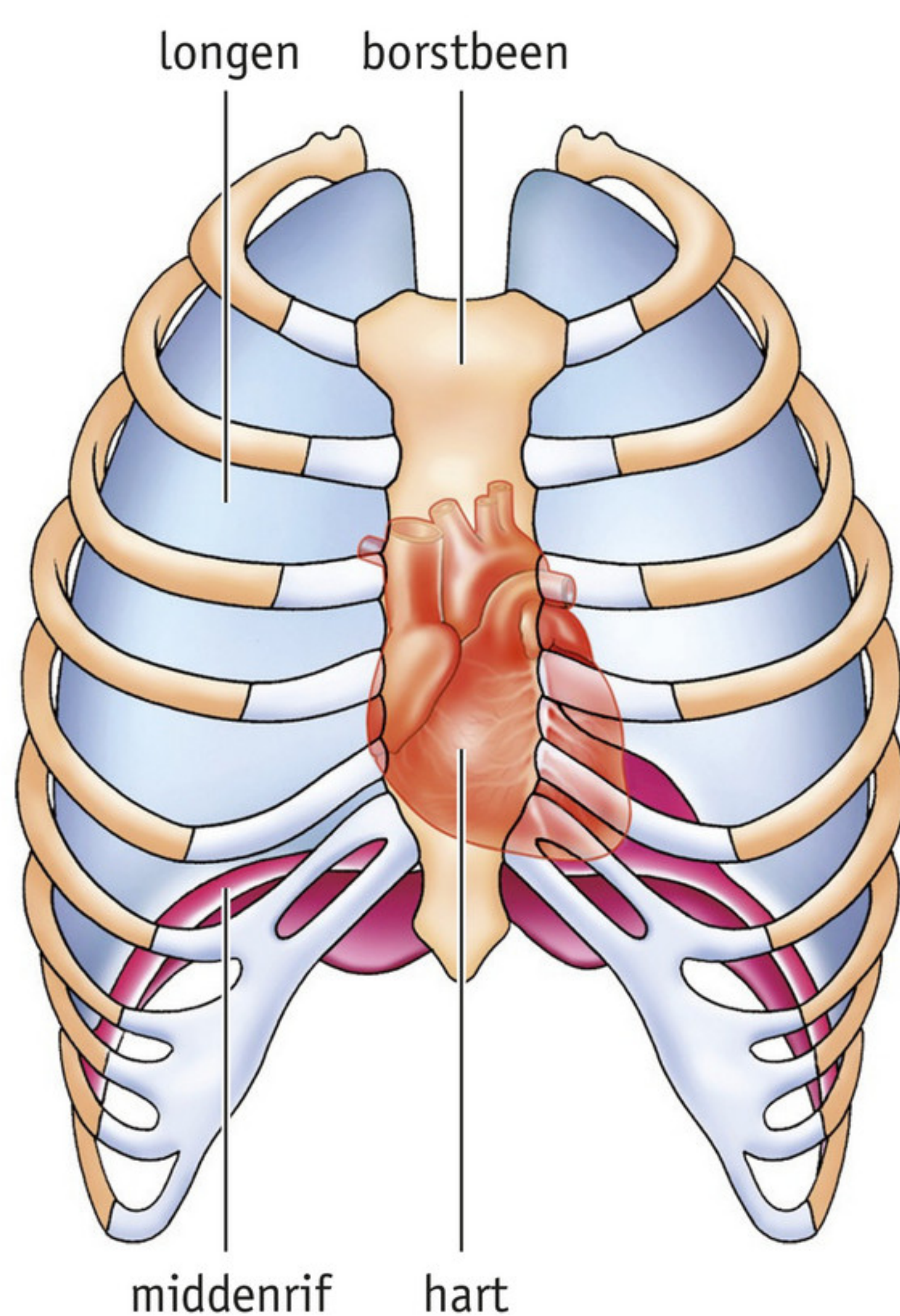
Het hart

De cellen van je lichaam hebben voortdurend zuurstof nodig. Je hart zorgt ervoor dat het bloed door je lichaam stroomt en stoffen transporteert. Al in een embryo van drie weken oud begint het hart te kloppen.

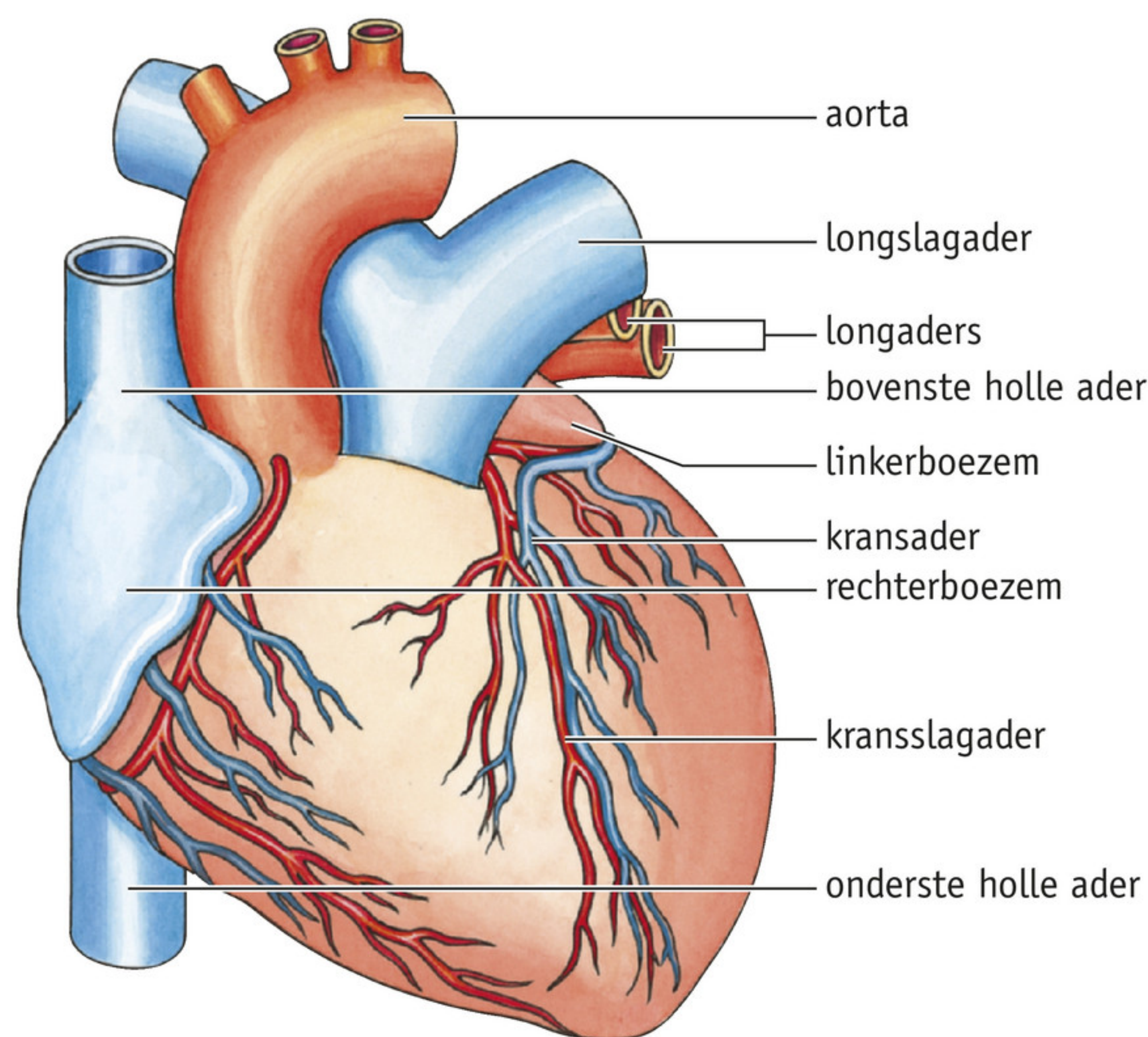
DE BOUW VAN HET HART

Het hart ligt in de borstkas iets naar links onder het borstbeen (zie afbeelding 10). Het is een dubbele pomp, ongeveer zo groot als een vuist. Het hart is een holle spier die energie verbruikt. Over het hart lopen bloedvaten: de kransslagaders en de kransaders (zie afbeelding 11.1). De **kransslagaders** (aftakkingen van de aorta) voorzien het hartspierweefsel van zuurstof en voedingsstoffen. Koolstofdioxide en andere afvalstoffen worden afgevoerd via de **kransaders**. De kransaders monden rechtstreeks uit in de rechterboezem.

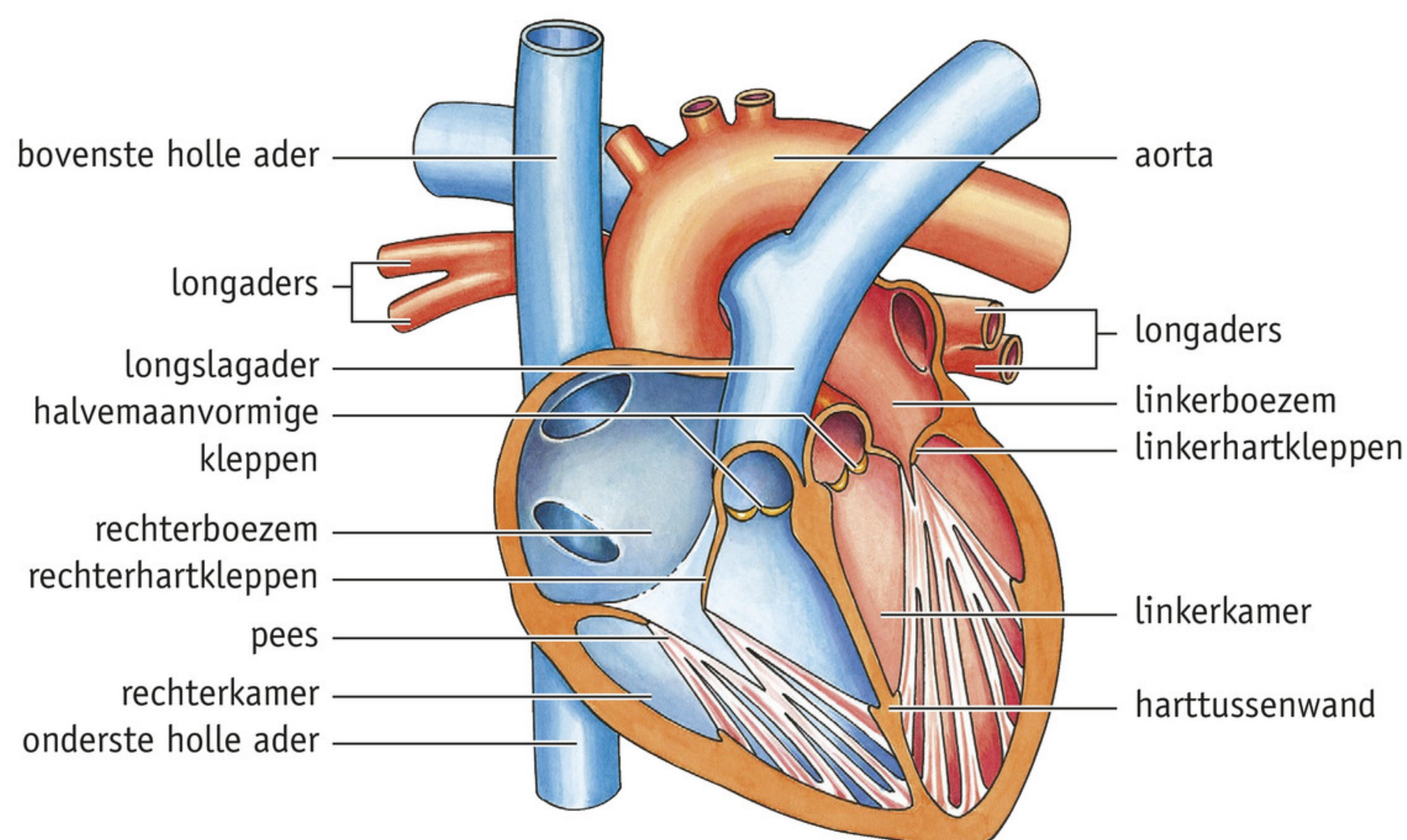
▼ **Afb. 10** De ligging van het hart.



▼ **Afb. 11** Het hart.



1 vooraanzicht

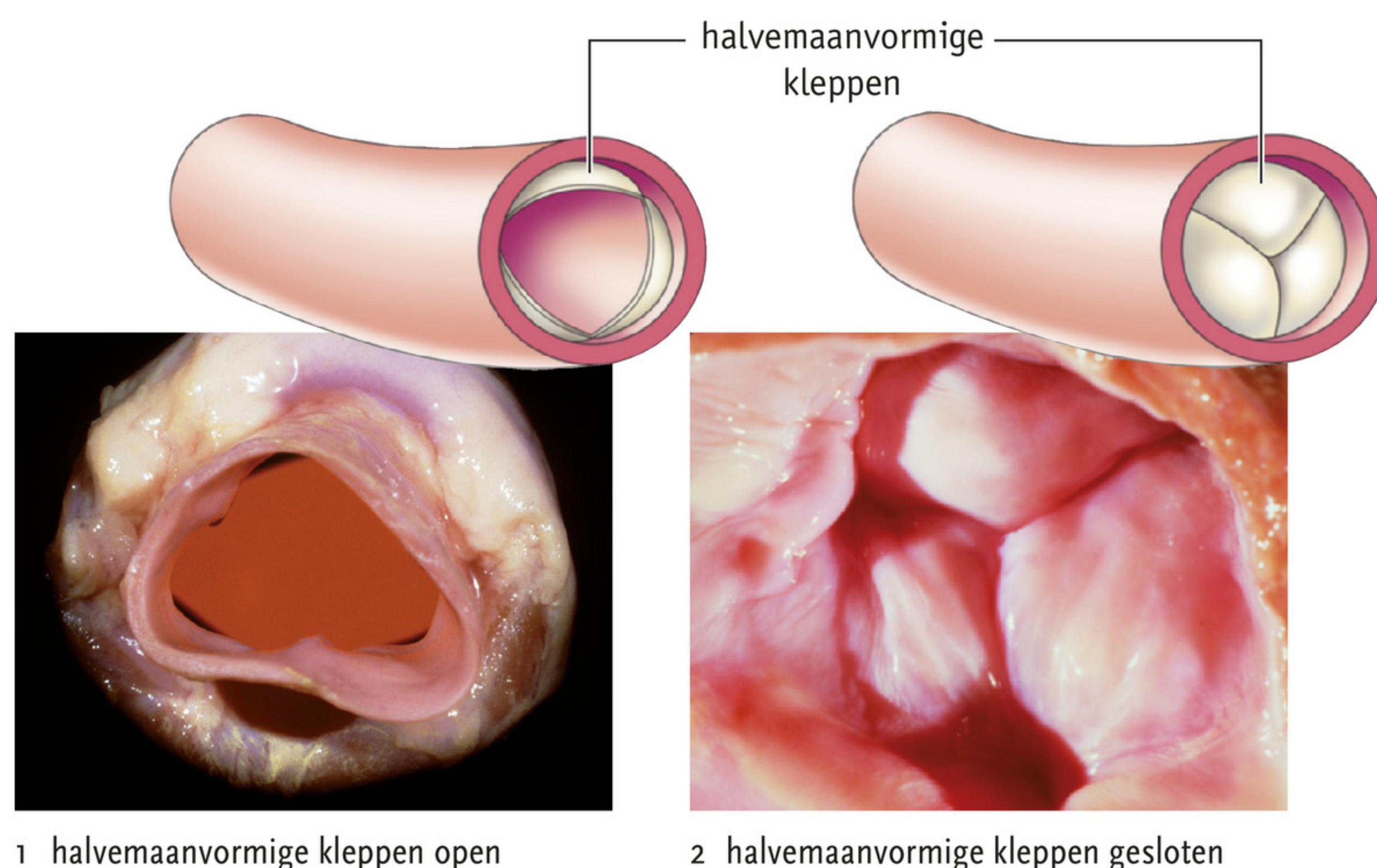


2 lengtedoorsnede

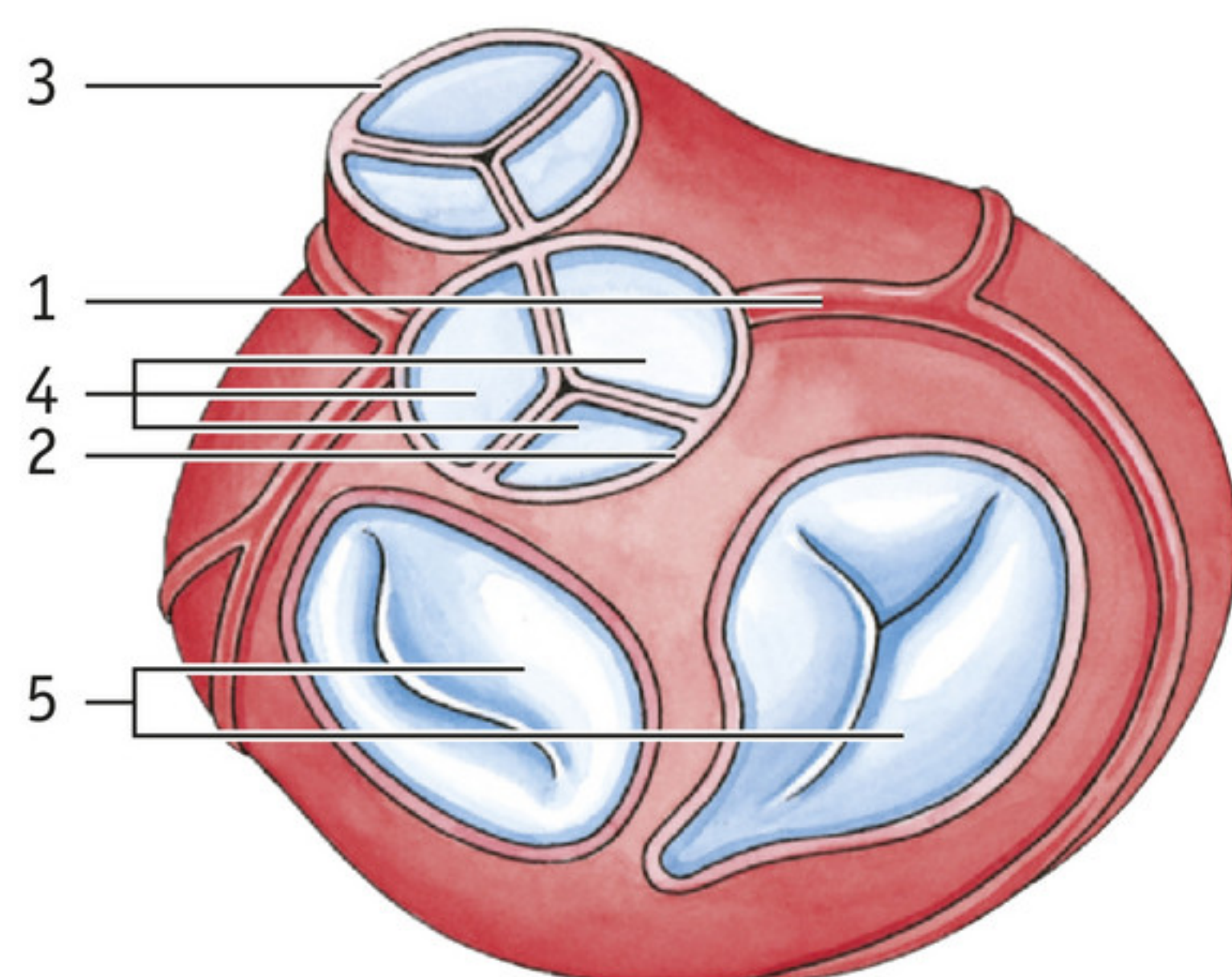
De linkerharthelft en de rechterharthelft zijn gescheiden door een **harttussenwand** (zie afbeelding 11.2). Elke harthelft bestaat uit een boezem en een kamer. De boezems zitten als een soort 'zakjes' op de kamers. Het bloed uit het lichaam komt het hart binnen via de onderste en bovenste holle ader, die uitmonden in de **rechterboezem**, vanwaar het bloed naar de **rechterkamer** stroomt. De rechterkamer pompt het bloed in de **longslagader**, die zich vertakt naar beide longen. Het bloed uit de longen stroomt via de longaders terug naar het hart en komt in de **linkerboezem** terecht, vanwaar het naar de **linkerkamer** stroomt. De linkerkamer pompt het bloed in de **aorta** (grote lichaamsslagader). Door slagaders die van de aorta aftakken, stroomt het bloed naar de organen van het lichaam. Boezems en kamers zijn van elkaar gescheiden door **hartkleppen**. Aan het begin van de longslagader en de aorta bevinden zich **halvemaanvormige kleppen** (zie afbeelding 12).

►► PRACTICUMOPDRACHT 1

► **Afb. 12** Halbemaanvormige kleppen in de aorta (foto en schematische tekening).



▼ **Afb. 13** Deel van het hart (schematische dwarsdoorsnede).



opdrachten

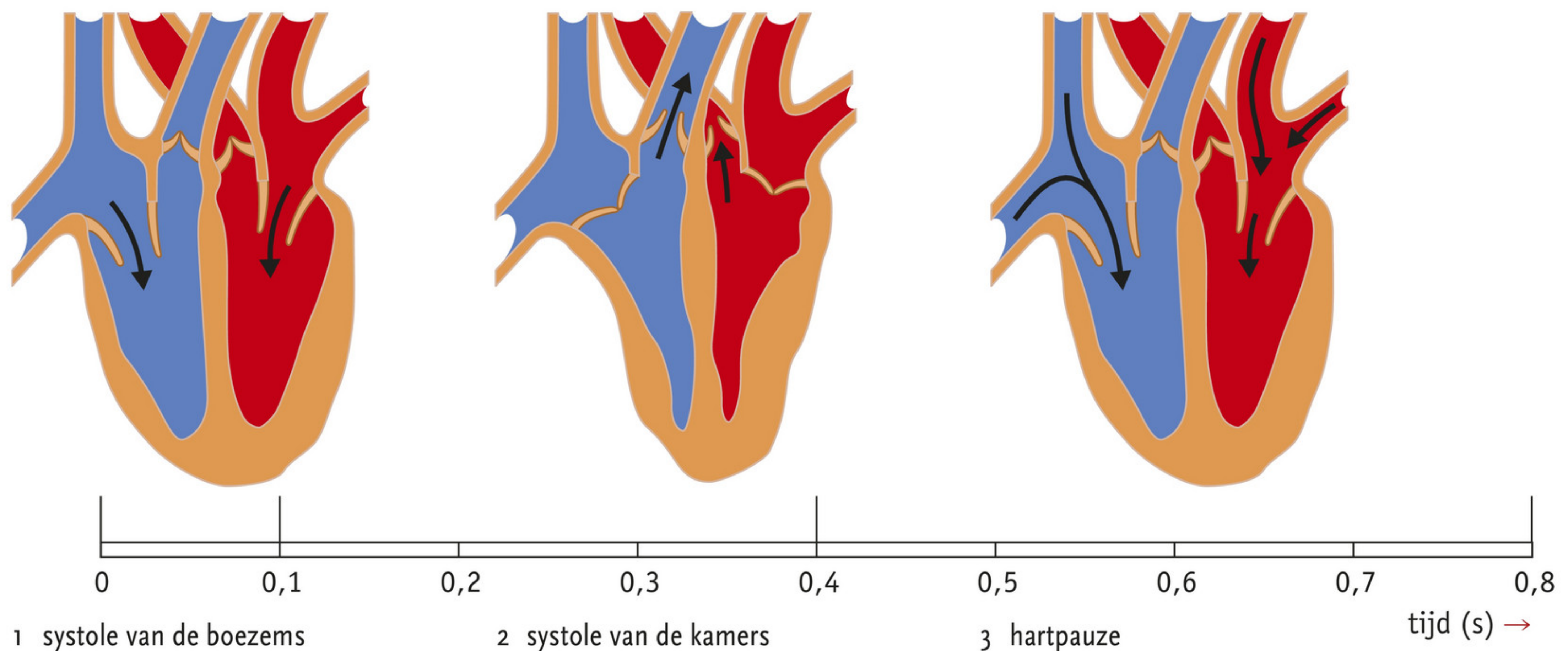
- 12** Afbeelding 13 is een schematische tekening van een deel van het hart. De beide boezems en de aansluitende bloedvaten zijn weggelaten. Nummer 2 en 3 geven wanden van bloedvaten aan. Noteer de namen van de genummerde delen.
- 13** Het hartspierweefsel van een mens produceert veel koolstofdioxide.
- a** In welk deel van het hart komt dit koolstofdioxide het eerst terecht?
 - b** Bij het roken van een sigaret wordt in de longen nicotine opgenomen in het bloed.
In welk deel van het hart komt deze nicotine het eerst terecht?
 - c** Verklaar dat de kransslagaders aftakkingen zijn van de aorta en niet van de longslagader.
- 14** Het hart heeft een linker- en een rechterkamer.
- a** Welke kamer heeft de meest gespierde wand? Leg je antwoord uit.
 - b** Doordat het hart het bloed met kracht wegpompt, ontstaat de bloeddruk. Is de bloeddruk aan het begin van de aorta lager dan, gelijk aan of hoger dan de bloeddruk aan het begin van de longslagader? Leg je antwoord uit.

- 15 De halvemaanvormige kleppen zijn een soort vliezige ‘zakjes’ tegen de wand van de slagaders (zie afbeelding 12).
Verklaar de werking van deze ‘terugslagklepjes’ met behulp van een schematische lengtedoorsnede van de open en de gesloten situatie.

DE WERKING VAN HET HART

Bij de werking van het hart zijn drie fasen te onderscheiden die elkaar steeds opvolgen (zie afbeelding 14): de samentrekking en de ontspanning van hartspierweefsel en de hartpauze. De samentrekking van hartspierweefsel noem je **systole** en de ontspanning **diastole**. De hartslag begint als de boezems zijn volgestroomd met bloed uit de holle aders en de longaders. De systole van de boezems vindt in beide harthelften gelijktijdig plaats. Het bloed stroomt hierdoor de kamers in. In de kamers vindt op dat moment diastole plaats.

▼ **Afb. 14** De werking van het hart (schematisch).



Als de kamers zijn volgestroomd, vindt systole van de kamers plaats. De druk in de kamers stijgt. Daardoor slaan de hartkleppen dicht en verhinderen dat het bloed terugstroomt in de boezems. De hartkleppen zijn door pezen verbonden met spieren in de hartwand. Hiermee wordt voorkomen dat de hartkleppen ‘doorslaan’ naar de boezems. Tijdens de systole van de kamers vindt in de boezems diastole plaats. Als de druk in de kamers hoger is geworden dan de druk in de aorta en in de longslagader(s), worden de halvemaanvormige kleppen opengedrukt. Het bloed wordt tegelijkertijd in de aorta en in de longslagader(s) gepompt. Hierna volgt de **hartpauze**, waarbij zowel de boezems als de kamers ontspannen zijn. De halvemaanvormige kleppen zijn nu gesloten en verhinderen dat het bloed terugstroomt naar de kamers vanuit de longslagader en de aorta. Het bloed stroomt uit de holle aders en de longaders in de boezems en gedeeltelijk door naar de kamers. In afbeelding 14 is voor elke fase de stand van de hartkleppen en van de halvemaanvormige kleppen aangegeven.

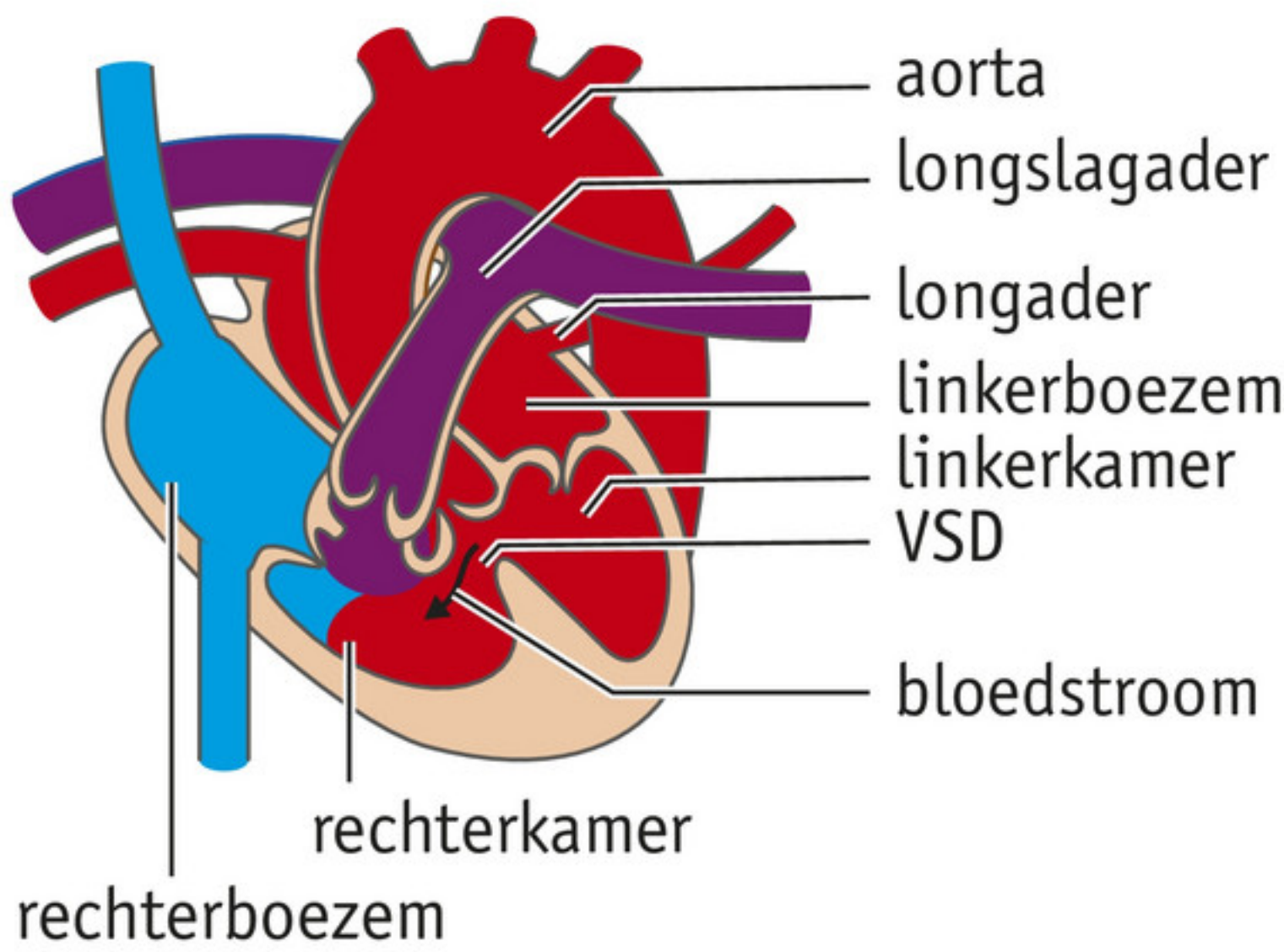
Met een stethoscoop zijn bij elke hartslag twee **harttonen** te horen. Als de samentrekking van de kamers begint, slaan de hartkleppen dicht. Hierdoor is een doffe harttoon te horen. Als na het eind van de samentrekking de halvemaanvormige kleppen dichtslaan, is een heldere harttoon te horen. Een arts kan aan de harttonen horen of de kleppen goed functioneren. Als de kleppen niet goed sluiten, is er **hartruis** te horen. Ook andere afwijkingen kunnen hartruis veroorzaken, bijvoorbeeld een gaatje in de wand tussen de boezems of de kamers.

opdrachten

16 Vul de tabel in. Kies uit: *dicht – hartkamers – open – slagaders*.

	Systole van de boezems	Systole van de kamers	Hartpauze
1 In welke richting stroomt het bloed?			
2 Hoe is de stand van de hartkleppen?			
3 Hoe is de stand van de halvemaanvormige kleppen?			

▼ **Afb. 15** Hart met ventrikelseptumdefect (VSD).



Legenda:

- zuurstofrijk bloed
- zuurstofarm bloed
- mengsel van zuurstofrijk en zuurstofarm bloed

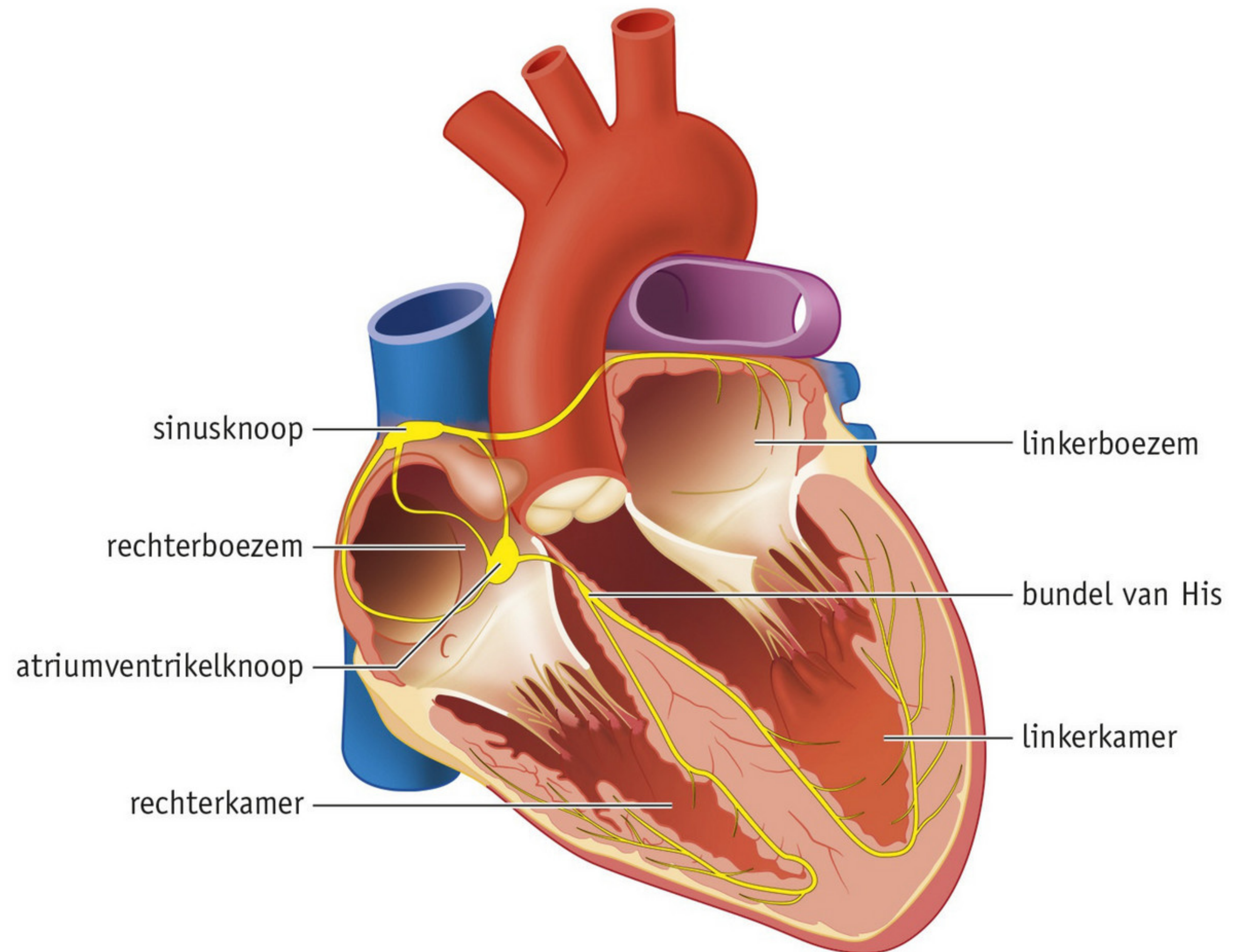
- 17 In afbeelding 14 is een tijdbalk weergegeven.
- a Op welk tijdstip op deze tijdbalk is het volume van de hartkamers het grootst? En op welk tijdstip het kleinst?
 - b Op welk tijdstip slaan de halvemaanvormige kleppen dicht?
 - c Tijdens de systole van de kamers gaan de hartkleppen dicht en de halvemaanvormige kleppen open. Welke gebeurtenis vindt het eerst plaats? Leg je antwoord uit.
- 18 Een ventrikelseptumdefect (VSD) is een vaak voorkomende aangeboren afwijking. Bij een VSD is er een opening tussen de beide hartkamers (zie afbeelding 15). Als deze opening dicht bij de kleppen zit, kunnen die ook minder goed functioneren.
- Een VSD kan in grootte variëren. Een kleine opening in de tussenwand levert vrijwel geen problemen op. Bij een grotere opening wordt er voortdurend bloed van de linkerkamer naar de rechterkamer geperst.
- a Welke gevolgen heeft dat voor de hoeveelheid bloed die in de aorta wordt gepompt?
 - b Kinderen met een grote opening tussen rechter- en linkerkamer zijn snel vermoeid en zien er bleek uit. Leg uit hoe dat komt.
 - c Het hart van reptielen lijkt op een zoogdierhart met een VSD. Verklaar dat deze minder efficiënte bouw bij reptielen geen zuurstoftekort veroorzaakt.
 - d Welk voordeel kan een open verbinding tussen de kamers hebben bij in het water levende reptielen?

DE HARTSLAGFREQUENTIE

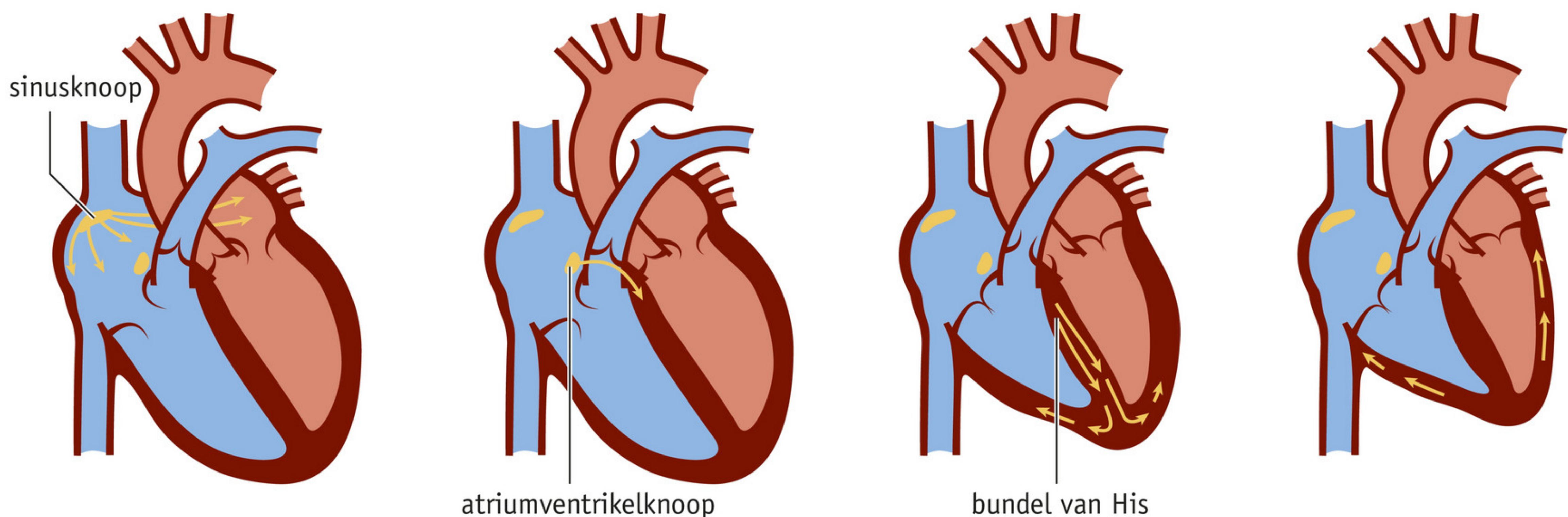
De samentrekking van het hartspierweefsel wordt veroorzaakt door impulsen die ontstaan in een groep gespecialiseerde cellen in de wand van de rechterboezem: de **sinusknoop** (zie afbeelding 16).

Vanuit de sinusknoop worden de impulsen eerst naar het spierweefsel in de wand van beide boezems geleid. Hierdoor wordt de systole van de boezems veroorzaakt. Doordat zich in de wand tussen de boezems en de kamers een laag bindweefsel bevindt, worden de impulsen niet direct verder geleid naar de kamers. Tussen de rechterboezem en de rechterkamer ligt een tweede groep gespecialiseerde cellen: de **atriumventrikelknoop (AV-knoop)**. Vanuit de atriumventrikelknoop loopt de **bundel van His** door de hanttussenwand in de richting van de punt van beide kamers.

► **Afb. 16** Ligging van de sinusknoop, atriumventrikkelknoop en bundel van His.



▼ **Afb. 17** De impulsgeleiding in het hart (schematisch).



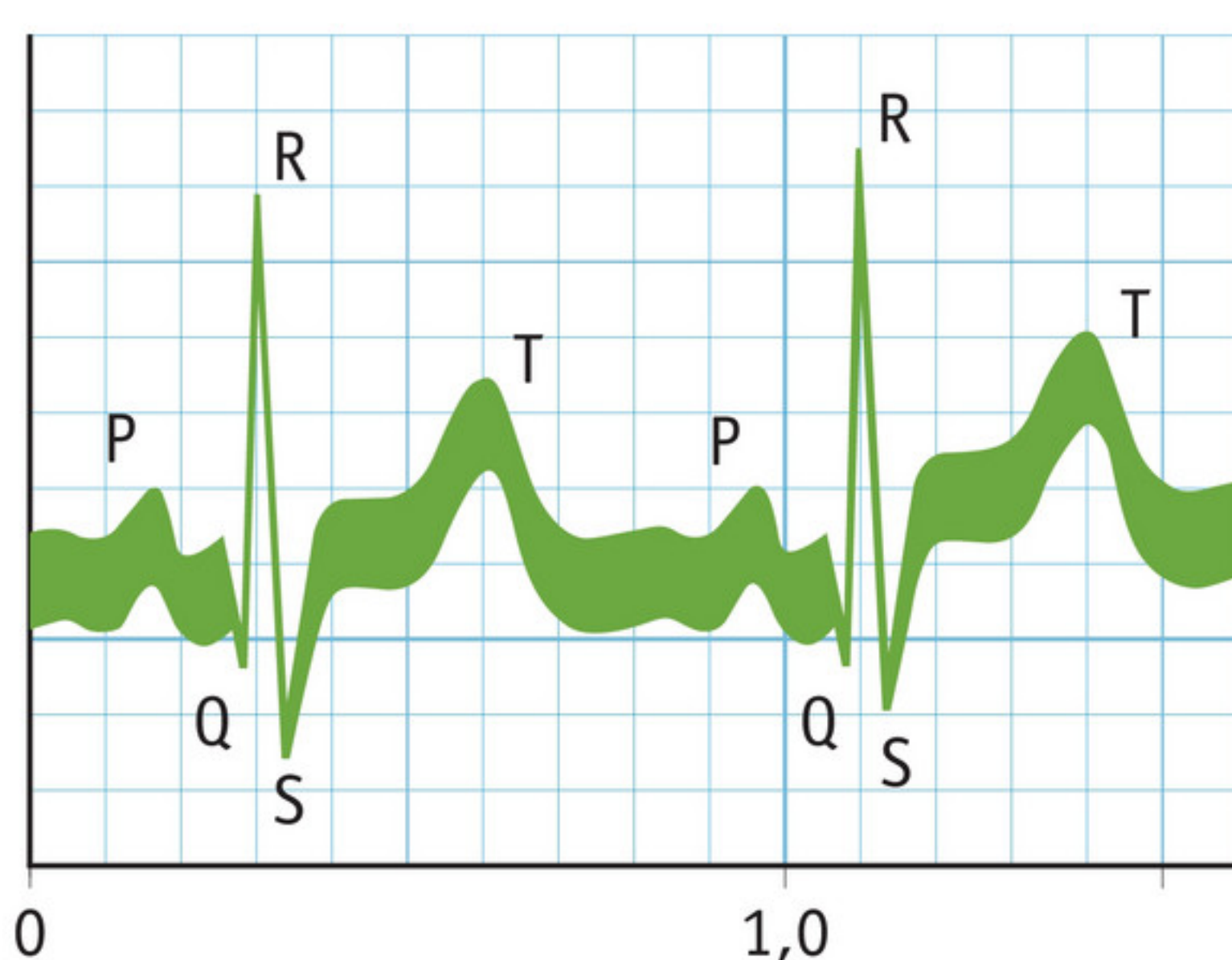
1 De sinusknoop veroorzaakt de systole van de boezems.

2 De atriumventrikkelknoop neemt de impulsgeleiding over.

3 Via de bundel van His bereiken de impulsen de punt van het hart.

4 Geleiding van impulsen in de wand van de kamers: systole van de boezems.

▼ **Afb. 18** Een elektrocardiogram (ecg).



Aan het eind van de systole van de boezems komen de impulsen in de atriumventrikkelknoop aan. Via de bundel van His worden de impulsen verder geleid naar het spierweefsel in de wand van beide kamers. Direct nadat de systole van de boezems is voltooid, begint de systole van de kamers. De samentrekking van het spierweefsel in de wand van de kamers begint bij de naar beneden gerichte punt van het hart en zet zich voort naar boven toe (zie afbeelding 17).

De impulsgeleiding in het hart kan worden gemeten en weergegeven in een **elektrocardiogram (ecg)**; zie afbeelding 18).

De snelheid waarmee de sinusknoop impulsen afgeeft, heet de **hartslagfrequentie** (of **hartritme**). De hartslagfrequentie hangt samen met de lichaamsactiviteit. Bij toenemende activiteit stijgt het hartritme. Dat is nodig om de bloeddruk op peil te houden.

De bloeddruk wordt geregeld door negatieve terugkoppeling (zie afbeelding 19). In de wand van de halsslagaders en de aorta liggen zintuigcellen die de bloeddruk waarnemen en doorgeven aan de hersenstam. Als de bloeddruk onder de normwaarde daalt, zorgt de hersenstam voor een stijging van het hartritme. Hierdoor stijgt de bloeddruk. Is de bloeddruk gestegen tot boven de normwaarde, dan daalt het hartritme weer.

► **Afb. 19** Regeling van het hartritme en de bloeddruk door negatieve terugkoppeling.



De hersenstam kan ook worden beïnvloed door emoties en zintuiglijke waarnemingen (via de grote hersenen). Bijvoorbeeld als je gespannen of kwaad bent, of als je iets ziet waarvan je schrikt. Het bijniemerg geeft dan veel van het hormoon adrenaline af aan het bloed. Adrenaline en de hersenstam zorgen dan voor een stijging van het hartritme.

Bij hartritmestoornissen kunnen de boezems of de kamers te snel, te langzaam of onregelmatig samentrekken. De oorzaak ligt in de vorming of de geleiding van impulsen. Als er vaker ernstige hartritmestoornissen optreden en er risico bestaat voor een hartstilstand, kan het hartritme worden ondersteund met behulp van een pacemaker. Deze herstelt het normale hartritme met elektrische impulsen.

De hartslagfrequentie is afhankelijk van de lichaamsgrootte. Bij pasgeboren baby's slaat het hart gemiddeld 130 keer per minuut, bij volwassenen in rust gemiddeld 70 keer per minuut. Bij volwassenen wordt per hartslag in rust 70 tot 100 mL bloed in de aorta gepompt. Deze hoeveelheid bloed noem je het **slagvolume**. Het slagvolume is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid bloed die vanuit de holle aders de rechterboezem instroomt.

opdrachten

- 19 De letters P, R en T in het ecg van afbeelding 18 geven de drie fasen aan in een hartslag. T geeft de herstelfase (hartpauze) aan.
 - a Welke samentrekkingen horen bij letter P en R?
 - b In een ecg is de herstelperiode van de cellen in de wand van de kamer wel af te lezen, maar die van de cellen in de wand van de boezem niet. Leg dat uit.
 - c Maak met behulp van afbeelding 18 een schatting van de hartslagfrequentie van deze persoon.
- 20 Bij experimenten wordt soms een kloppend hart buiten het lichaam in een vloeistof gebracht. Leg uit hoe het komt dat zo'n hart door kan blijven kloppen.

- 21** Het slagvolume is de hoeveelheid bloed die per slag in de aorta wordt gepompt. Als maat voor de hoeveelheid arbeid die een hart verricht, wordt meestal het minutenvolume gebruikt. Dit is de hoeveelheid bloed die per minuut door de linkerkamer in de aorta wordt geperst.
- a** Bereken het gemiddelde minutenvolume van een volwassen persoon in rust.
- b** Bij sportmensen blijkt de hartslagfrequentie bij toenemende inspanning gedurende een trainingsperiode soms weinig of niet te stijgen. Door welke verandering in de hartwerking wordt dan toch het minutenvolume vergroot?
- 22 a** Is de hartslagfrequentie van een olifant hoger of lager dan die van een mens? En de hartslagfrequentie van een muis?
- b** Verklaar het verschil.
- 23** Lees het onderzoek naar risicofactoren voor hart- en vaatziekten in afbeelding 20.
- a** Welke leefgewoonten kunnen het cholesterolgehalte van het bloed en de bloeddruk verhogen?
- b** Waarvoor is het belangrijk dat dit soort onderzoek met grote groepen deelnemers gebeurt?
- c** Wat is het relatief risico van de mannen en vrouwen in de hoogrisicogroep?
- d** Geef op basis van afbeelding 20 in eigen woorden een samenvatting van het resultaat.
- e** Schrijf een werkplan voor dit bevolkingsonderzoek.

▼ Afb. 20

ONDERZOEK	RISICOFACTOREN VOOR HART- EN VAATZIEKTEN		
Inleiding	In een grootschalig, langdurig bevolkingsonderzoek werd de invloed onderzocht van drie risicofactoren op de sterfte aan hart- en vaatziekten: cholesterolgehalte van het bloed, bloeddruk en roken.		
Onderzoeksvraag	Wat is de invloed van risicofactoren op het aantal sterfgevallen als gevolg van hart- en vaatziekten bij mannen en vrouwen?		
Hypothese	Mannen en vrouwen met lage waarden voor de risicofactoren hebben een kleinere kans om aan hart- en vaatziekten te overlijden.		
Experiment			
Resultaat	Relatief risico voor mannen en vrouwen in de laagrisicogroep om te overlijden aan hart- en vaatziekten ten opzichte van mannen en vrouwen in de groep met een te hoge waarde voor een van de drie risicofactoren.		
	Geslacht	Leeftijdscategorie	Relatief risico*
	Mannen laag risico	40 – 59 jaar	0,28
	Vrouwen laag risico	40 – 59 jaar	0,27
	* ten opzichte van de frequentie hart-en vaatziekten bij de hoogrisicogroep		
Conclusie	Mannen en vrouwen met lage waarden voor de risicofactoren hebben op lange termijn een veel kleinere kans om te overlijden aan hart- en vaatziekten. Een groter aandeel van de groep in de bevolking met lage risicofactoren kan dus bijdragen aan een verlaging van de sterfte aan hart- en vaatziekten.		

Bron: <http://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/192153>.

CONTEXT

Leefwereld

Binnen zes minuten

▼ **Afb. 21** Direct starten met reanimatie.



Toen Talisha en Dianthe door het park wandelden, zagen ze een man die onwel werd. Hij ademde niet meer. Talisha begon meteen met reanimeren (zie afbeelding 21). Haar zus belde 112. De politie, die nog vóór de ambulance arriveerde, gebruikte de AED. De volgende dag kregen ze een bos bloemen en een dinerbon van de familie van de man, die het gelukkig had overleefd. Net drie weken daarvoor had Talisha een herhalingscursus reanimeren gevolgd bij de EHBO-vereniging. Daar leer je ook hoe je een AED (Automatische Elektronische Defibrillator) moet gebruiken. Een AED kan via elektroden op de huid kamerfibrilleren herkennen en met een elektrische schok het hartritme herstellen. Kamerfibrilleren of ventrikelfibrilleren is een ernstige hartritmestoornis die leidt tot een hartstilstand. AED-apparaten hangen op drukbezochte punten. Op steeds meer plaatsen worden zesminutenzones ingesteld voor snelle actie met reanimatie en defibrillatie.

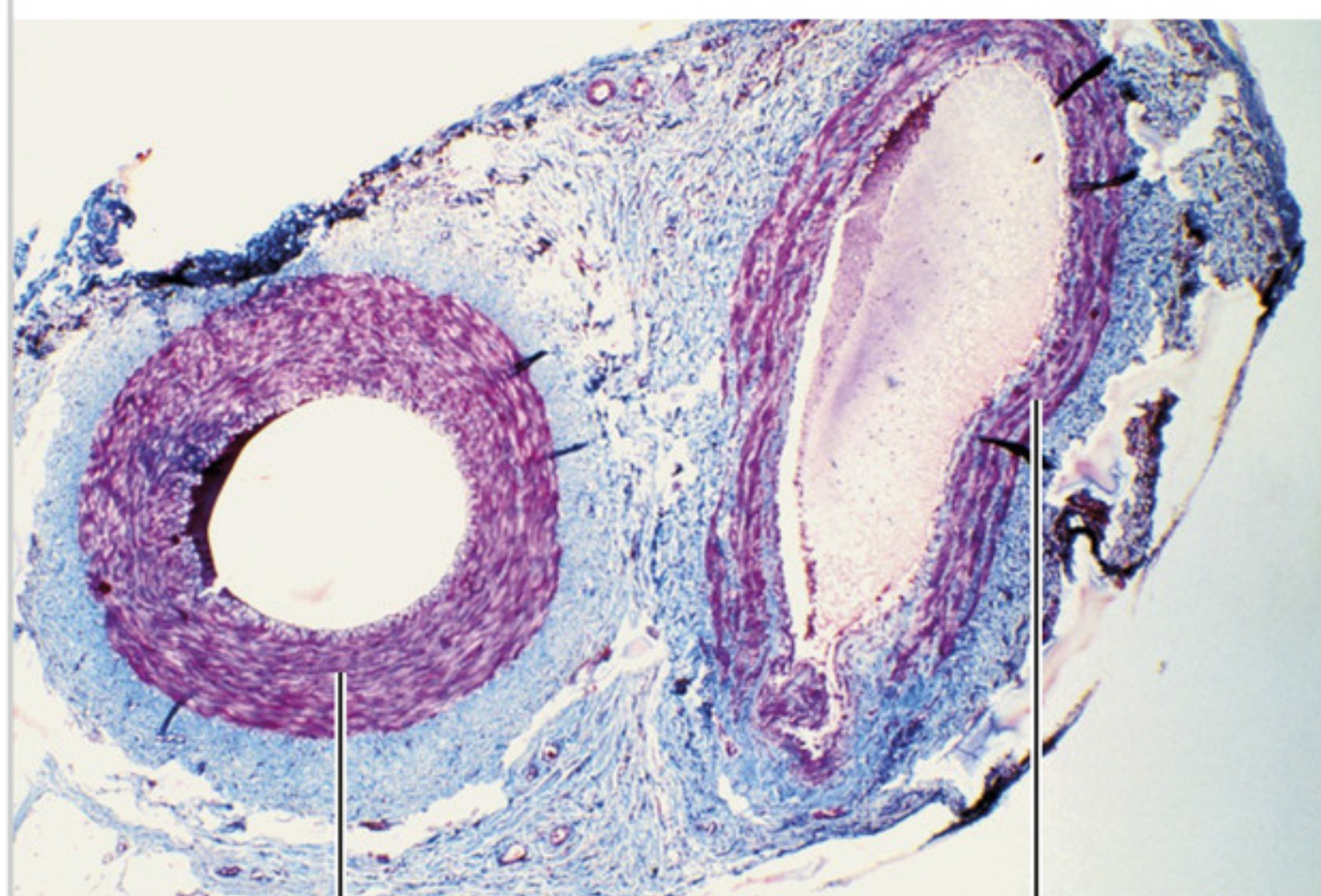
opdrachten

- 24 Een ICD (Internal Cardioverter Defibrillator) is een speciaal soort pacemaker voor mensen met levensbedreigende hartritmestoornissen. De ICD herkent een hartritmestoornis en herstelt zo nodig het normale hartritme door elektrische impulsen of een sterke stroomstoot af te geven.
 - a Geef een overeenkomst en een verschil tussen een AED en een ICD.
 - b Bij kamerfibrilleren komt het hart in een soort snelle trilstand waardoor het niet effectief meer pompt.
Leg uit dat in dit geval circulatiestilstand een betere benaming is dan hartstilstand.
 - c Een AED kan beter geen schok geven bij een normaal hartritme of bij een hartstilstand. Leg dat uit.
- 25 Bij een circulatiestilstand is het belangrijk dat je snel handelt.
 - a Noem drie dingen die je moet doen bij een slachtoffer met een circulatiestilstand.
 - b Waarvoor is het belangrijk om binnen zes minuten de bloedcirculatie te herstellen?
 - c In vrijwel alle schoolgebouwen is een AED aanwezig.
Waar bevindt zich op jouw school een AED?
 - d Hoe kom je erachter hoe een AED werkt?
 - e Bij welke organisaties kun je leren hoe je een AED moet gebruiken?

Leerdoelen

- Je kent de functies en kenmerken van aders, slagaders en haarvaten en kunt de relatie tussen bouw en werking uitleggen.
- Je kunt zuurstofgehalte, glucosegehalte, stroomrichting en verloop van bloeddruk en stroomsnelheid in de delen van het bloedvatensysteem toelichten.

- ▼ **Afb. 22** Doorsnede van een slagader en een ader (microscopisch, vergroting 33×).



wand van een slagader

wand van een ader

- **Afb. 23** De bloedstroom door een orgaan (schematisch).

3 Het bloedvatensysteem

Bloed stroomt met grote snelheid door grote buizen naar de dunste buisjes, waar het langzaam door de organen gaat om stoffen uit te wisselen. De samenstelling van het bloed verandert daardoor voortdurend.

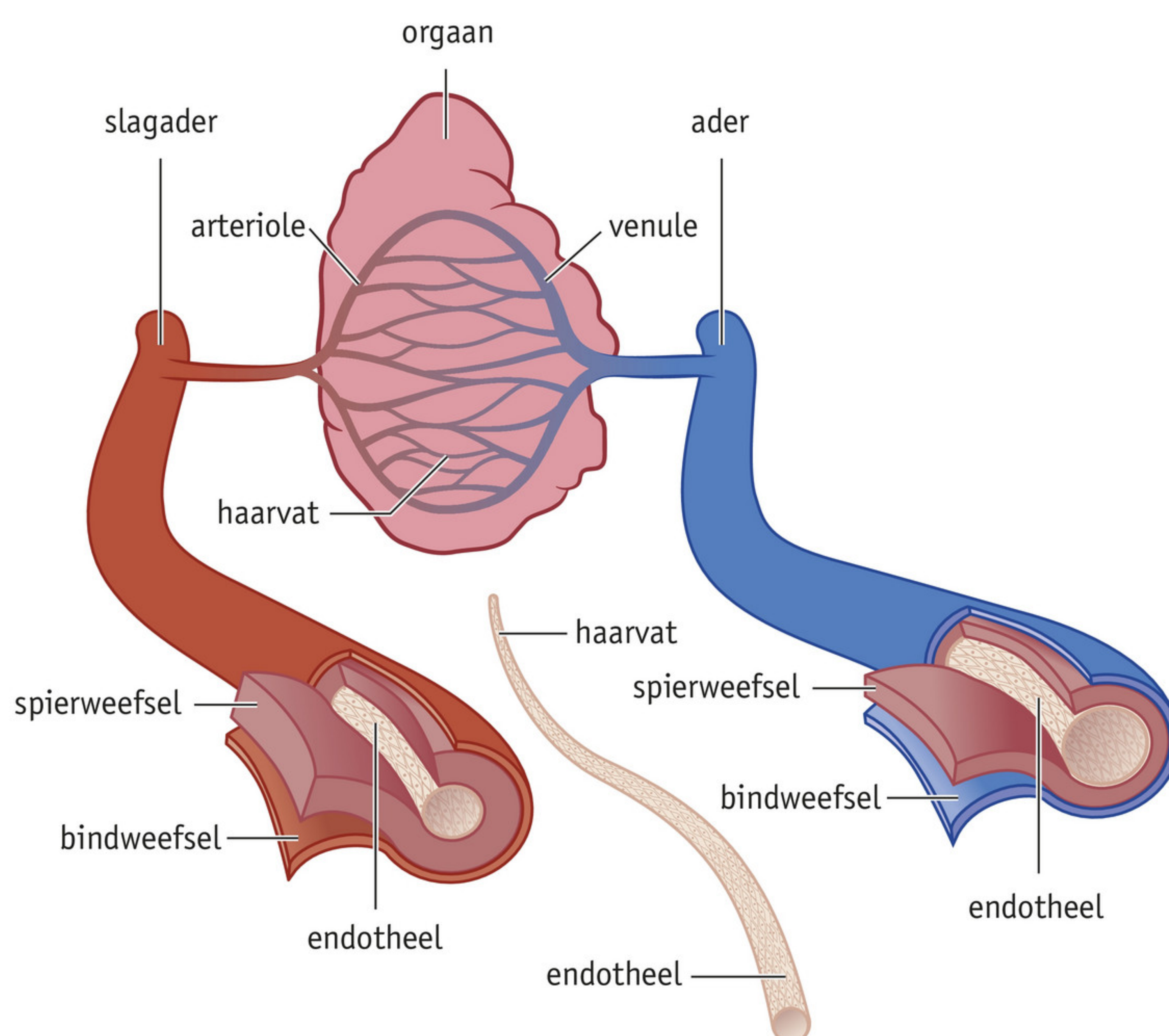
DRIE TYPEN BLOEDVATEN

Het hart pompt het bloed in **slagaders (arteriën)**. Via slagaders stroomt het bloed weg van het hart, naar de organen toe. Door het pompen van het hart stroomt het bloed stootsgewijs door de slagaders. De wanden van slagaders zijn dan ook dik, stevig en elastisch. Ze bevatten een dikke laag glad spierweefsel (zie afbeelding 22). Aan de binnenkant bevindt zich dekweefsel (endotheel) dat één cellaag dik is. Slagaders liggen meestal diep in het lichaam, waardoor ze niet gemakkelijk beschadigen.

In de organen vertakken de slagaders zich in steeds fijnere bloedvaten (**arteriolen**). Hierbij wordt de wand van de bloedvaten steeds dunner. Deze wand bestaat voor een groot deel uit glad spierweefsel, waardoor deze bloedvaten zich kunnen vernauwen (**vasoconstrictie**) of verwijden (**vasodilatatie**). Daarmee wordt geregeld hoeveel bloed door een weefsel stroomt.

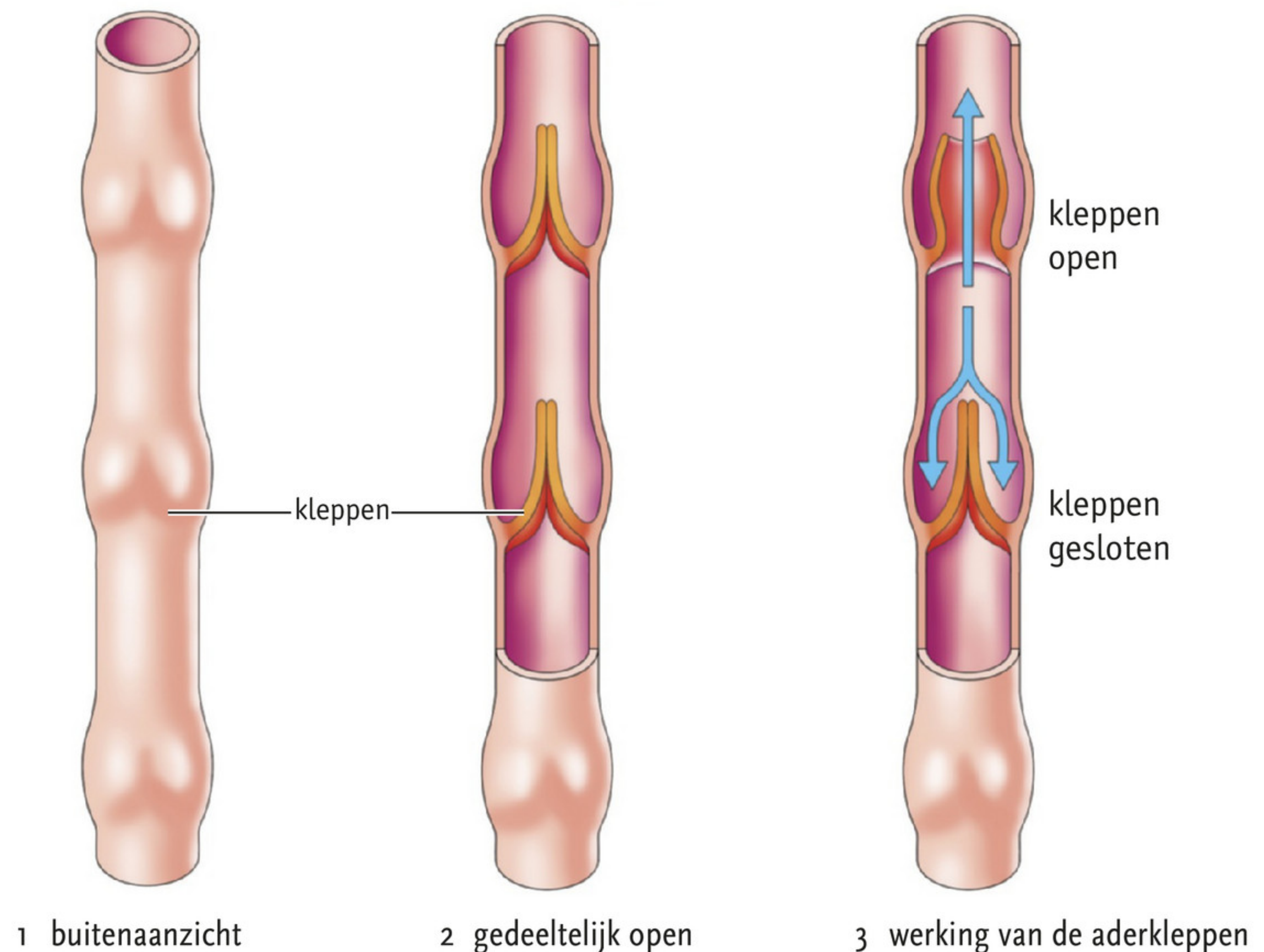
► PRACTICUMOPDRACHT 3

De arteriolen vertakken zich tot **haarvaten (capillairen)**, waarvan de wand uit één laag cellen bestaat. Door deze dunne wand kan vocht met voedingsstoffen en zuurstof de haarvaten verlaten en bij de cellen komen. Koolstofdioxide en andere afvalstoffen van de cellen kunnen door de dunne wand in de haarvaten terechtkomen. De haarvaten herenigen zich tot **venulen**. De venulen verenigen zich tot **aders (venen)**. Hierdoor stroomt het bloed terug naar het hart (zie afbeelding 23).



De wanden van aders zijn dunner en minder elastisch dan die van slagaders. De bloeddruk in de aders is lager dan die in de haarvaten. Veel aders bevatten kleppen, vooral de aders in de armen en benen. Deze **aderkleppen** laten het bloed slechts in één richting door (zie afbeelding 24). In aders is geen hartslag meer merkbaar. Aders liggen meestal minder diep in het lichaam. Je kunt ze bijvoorbeeld aan de onderzijde van je arm zien liggen als blauwe strepen.

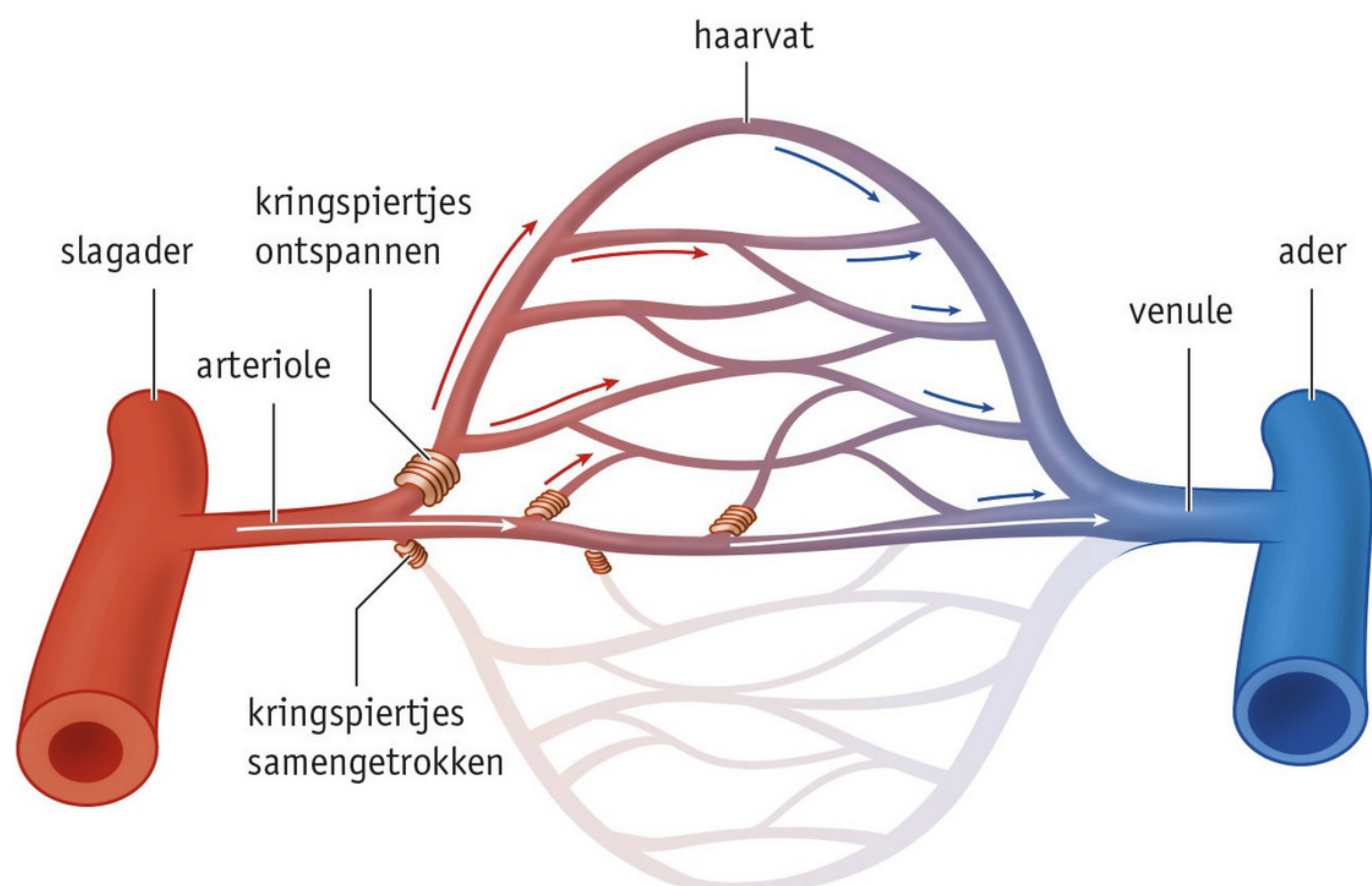
► **Afb. 24** Werking van aderkleppen.



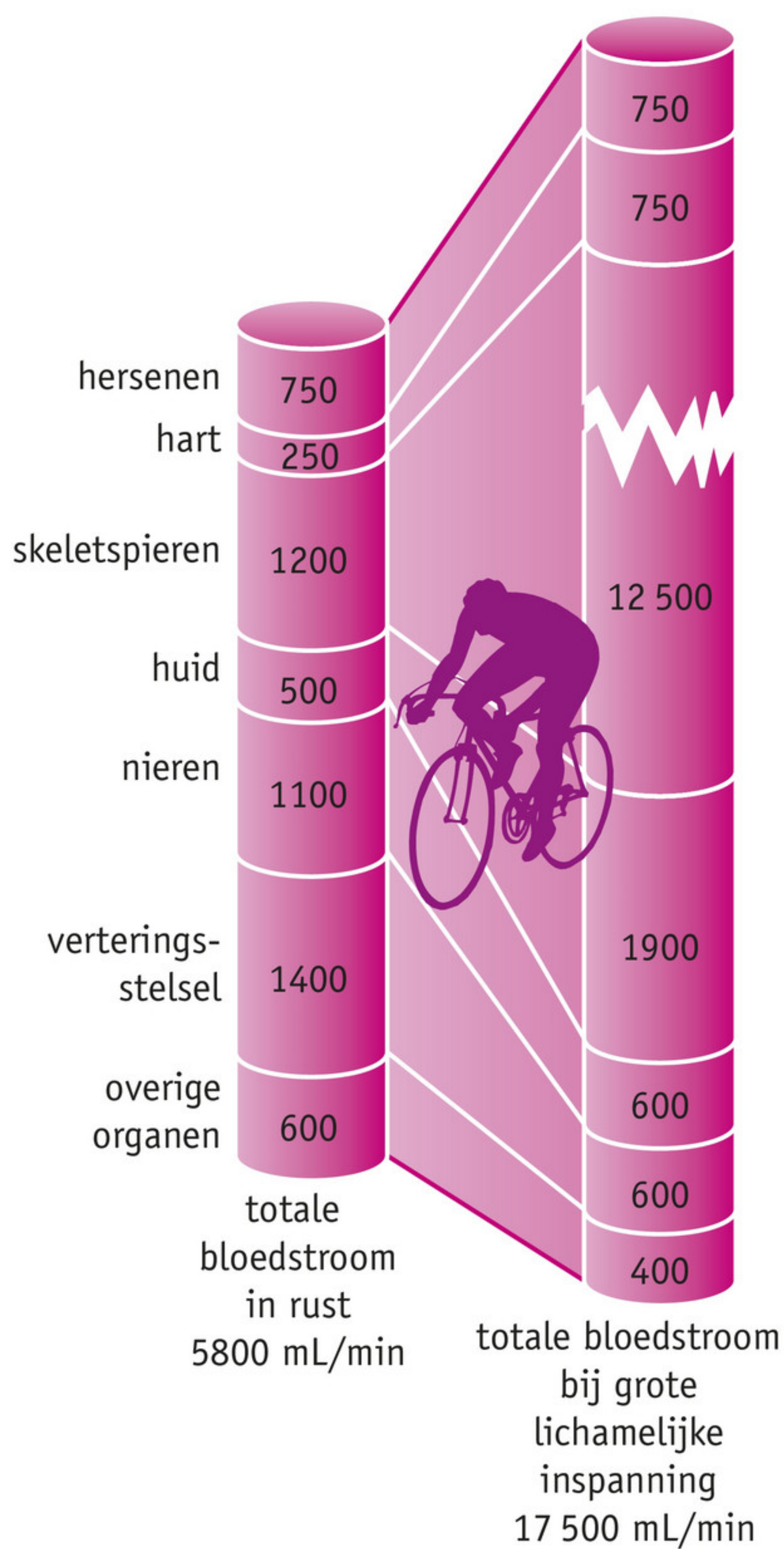
REGELING VAN DE BLOEDSTROOM

De hoeveelheid bloed die door een haarvatennet stroomt, is onder andere afhankelijk van de activiteit van het weefsel. Op veel plaatsen waar arteriolen overgaan in haarvaten bevinden zich kringspiertjes (zie afbeelding 25). Door middel van vasoconstrictie en vasodilatatie wordt geregeld hoeveel bloed door een bepaald weefsel stroomt. Bij grote lichamelijke inspanning worden de arteriolen in de skeletspieren, in het hart en in de huid wijder. De arteriolen in andere delen van het lichaam worden dan nauwer.

► **Afb. 25** Regeling van de bloedstroom door een weefsel.



▼ **Afb. 26** Bloedstroom (in mL/min) naar organen in rust en bij grote inspanning.



In afbeelding 26 is voor enkele organen weergegeven hoeveel bloed er per minuut naartoe stroomt in rust en bij grote inspanning.
In de meeste weefsels kan het haarvatennet bloed ontvangen uit veel verschillende arteriolen. Een uitzondering hierop vormt het hartspierweefsel.

opdrachten

- 26 Vul de tabel in.
Kies bij 1 uit: *van de organen weg naar het hart toe – van het hart weg naar de organen toe.*
Kies bij 2 uit: *hoog – laag.*
Kies bij 3 uit: *dik, stevig en elastisch – dun, weinig elastisch.*
Kies bij 4 uit: *regelmatig – stootsgewijs (kloppend).*
Kies bij 5 uit: *diep in het lichaam – minder diep in het lichaam.*
Kies bij 6 uit: *aanwezig, vooral in de armen en benen – niet aanwezig (behalve halvemaanvormige kleppen).*

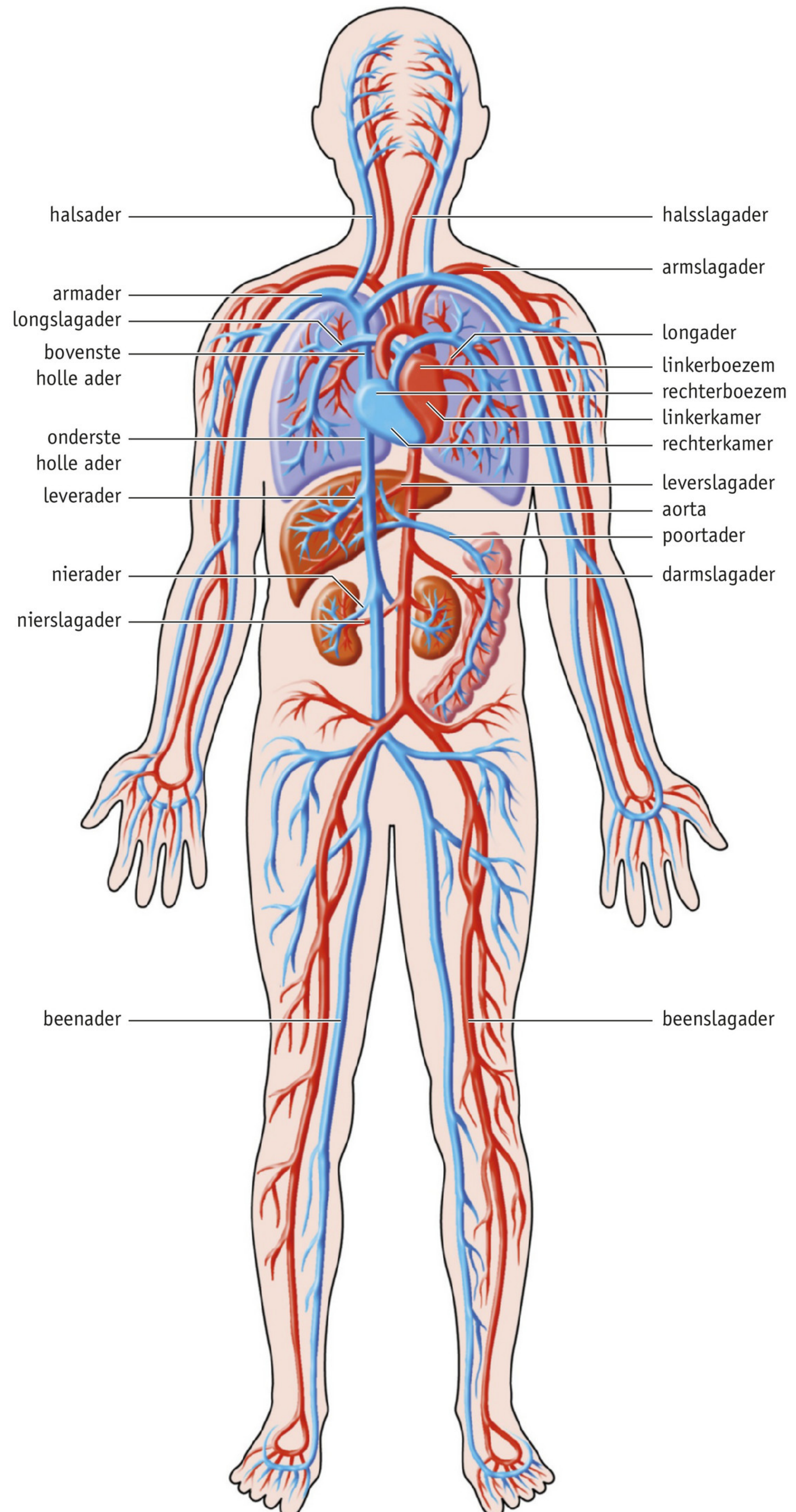
	Slagaders	Aders
1 Het bloed stroomt		
2 De bloeddruk is		
3 De wand is		
4 De bloedstroom is		
5 Ze liggen meestal		
6 Kleppen zijn		

- 27 a Waardoor is een slagaderlijke bloeding gevaarlijker dan een aderlijke bloeding?
b Leg uit waarom een verstopping van een arteriole in de meeste weefsels geen direct gevolg heeft voor de bloedstroom, maar in het hartspierweefsel wel.
c Bij atleten bevinden zich in de spieren veel meer haarvaten dan bij mensen die niet aan sport doen.
Leg uit welk voordeel dit heeft.
- 28 In de wand van de vertakkingen van slagaders bevindt zich spierweefsel.
a Wat is de functie van dit spierweefsel?
b Naar welk orgaan is de bloedtoevoer onder alle omstandigheden constant?
c Bij zware arbeid stroomt er meer bloed door de huid.
Wat is daarvan het nut?
d Bij maximale lichamelijke inspanning stroomt er weer minder bloed door de huid. Leg dat uit.
- 29 Bij een persoon trekt het spierweefsel in de wand van de arteriolen naar de skeletspieren in een groot deel van het lichaam zich plotseling samen.
Welk effect heeft dit op de bloeddruk?

NAAMGEVING VAN DE BLOEDVATEN

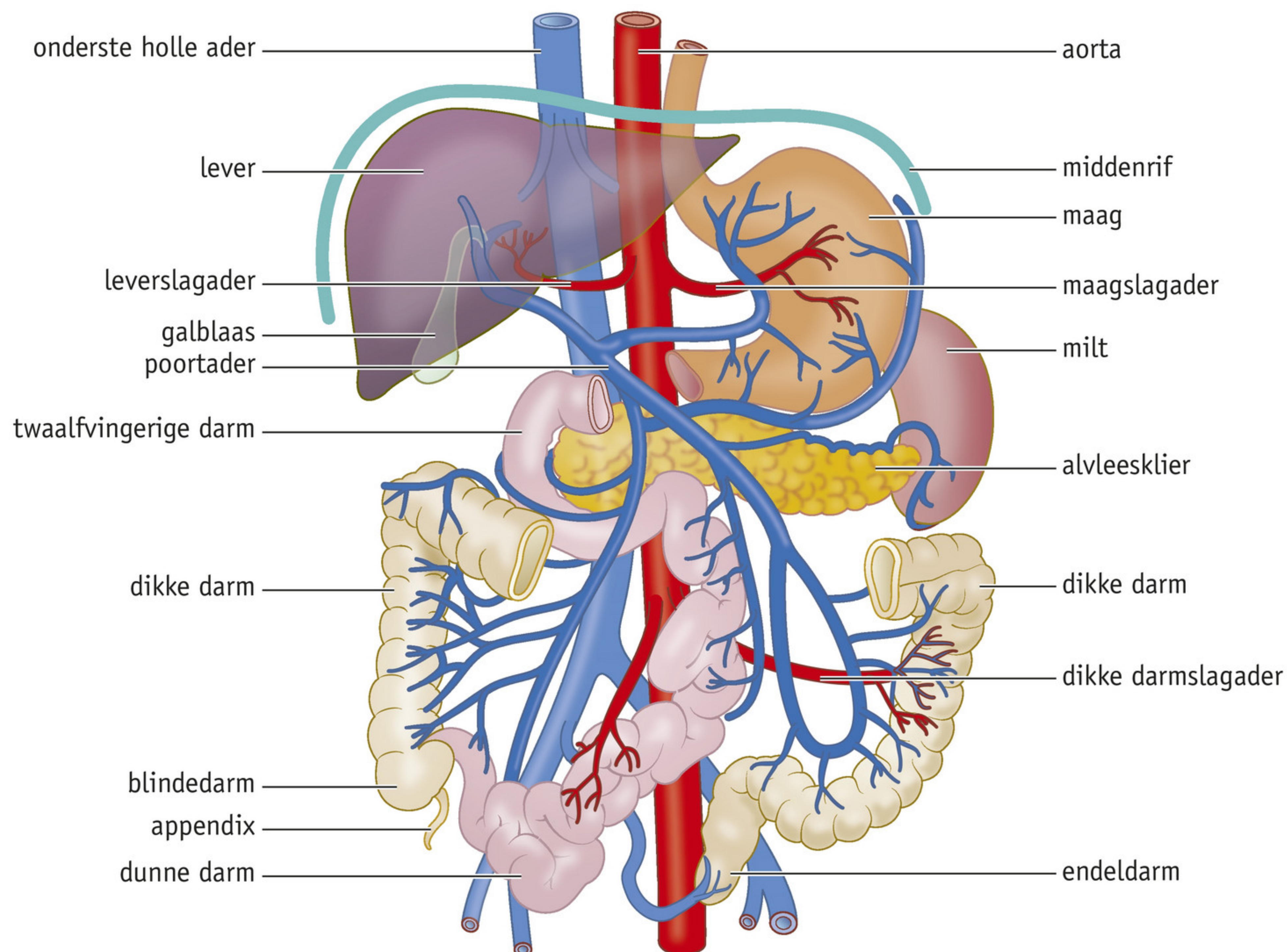
In afbeelding 27 zijn de belangrijkste bloedvaten van het bloedvatstelsel van de mens getekend. Slagaders en aders hebben in de regel de naam van het orgaan waar ze bloed naartoe of vandaan voeren. De poortader, die bloed uit de darmwand vervoert naar de lever, vormt een uitzondering.

► **Afb. 27** Het bloedvatstelsel bij de mens (schematisch, haarvaten ontbreken).



Het bloed uit de wand van het darmkanaal (met uitzondering van de endeldarm) gaat via de poortader naar de lever (zie afbeelding 28). Daarnaast ontvangt de lever bloed via de leverslagader. In de darmwand vindt resorptie van voedingsstoffen plaats. Het bloed in de poortader kan hierdoor sterk in samenstelling variëren. Hormonen uit de alvleesklier regelen of de lever glucose opslaat of afgeeft. De lever en de alvleesklier zorgen zo voor het constant houden van de samenstelling van het bloed (homeostase).

▼ **Afb. 28** De poortader met vertakkingen (de haarvaten zijn weggelaten).

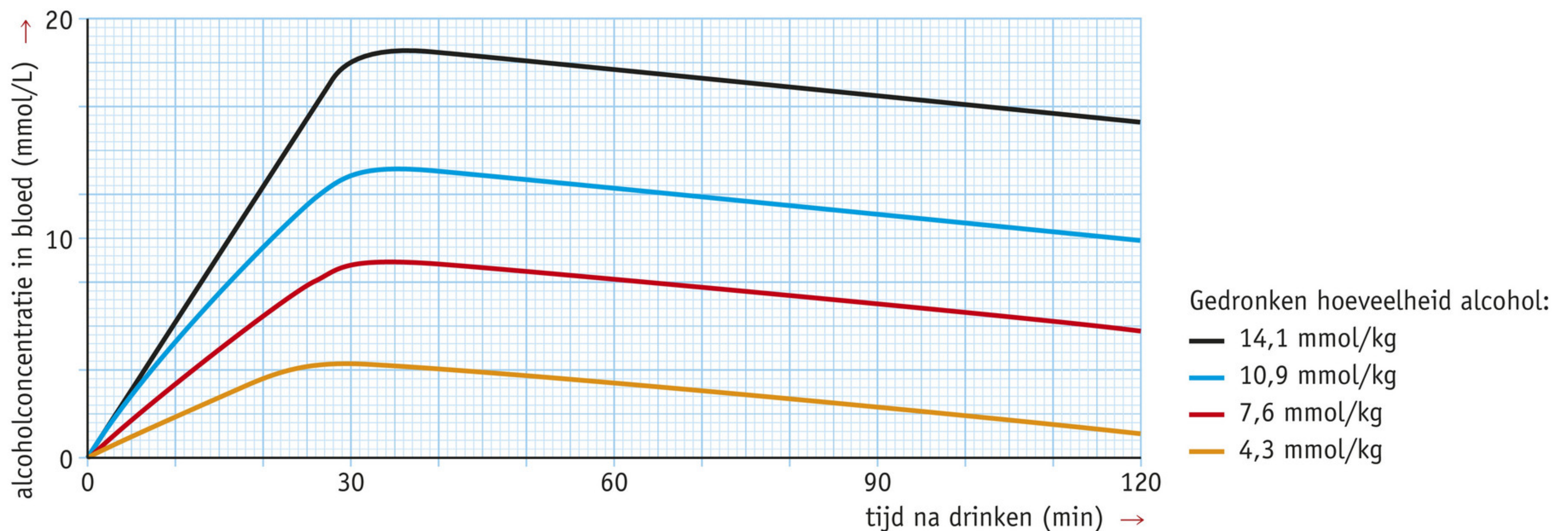


opdrachten

- 30** De meeste slagaders bevatten zuurstofrijk bloed en de meeste aders zuurstofarm bloed.
- Welke slagaders en aders vormen een uitzondering op deze regel?
 - Leg uit hoe het komt dat je aan de bloedvaten in je polsen wel je hartritme kunt voelen en aan de meeste andere bloedvaten in je armen niet.
- 31** Wanneer iemand een alcoholische drank drinkt, is korte tijd daarna alcohol in het bloed aan te tonen. Alcohol wordt door enzymen in de lever afgebroken, waardoor de alcoholconcentratie in het bloed afneemt.
- Alcoholmoleculen kunnen via de wand van de dunne darm in het bloed worden opgenomen.
Via welk bloedvat gaat een alcoholmolecuul van de dunne darm naar de lever?
 - Alcoholmoleculen kunnen ook via de longen worden uitgescheiden.
Daardoor kun je het vaak ruiken als iemand alcohol heeft gebruikt.
Door welke bloedvaten en hartdelen gaat een alcoholmolecuul dat via de kortste weg van de wand van de dunne darm naar de longen gaat?
 - Alcoholmoleculen kunnen al in de mond in het bloed worden opgenomen.
Door welke bloedvaten en hartdelen gaat een alcoholmolecuul dat via de kortste weg van de mond naar de lever gaat?

- 32 De hormonen insuline en glucagon regelen de opname en afgifte van glucose door de lever.
- Via welk bloedvat bereiken deze alvleesklierhormonen de lever?
 - Is het bloed in dit bloedvat zuurstofrijk of zuurstofarm? Leg je antwoord uit.
 - Sommige medicijnen worden als zetpillen via de endeldarm ingebracht. Verklaar de effectieve werking van zetpillen.
- 33 In het diagram van afbeelding 29 is het verloop van de alcoholconcentratie in het bloed van een proefpersoon weergegeven gedurende 120 minuten na het drinken van verschillende hoeveelheden alcohol. Leg uit waardoor de grafieken in het traject na 30 minuten evenwijdig aan elkaar lopen.

▼ Afb. 29



BLOEDDRUK

De druk die het bloed uitoefent op de wand van de bloedvaten noem je de **bloeddruk**. De belangrijkste oorzaak van de bloeddruk is het samentrekken van de hartkamers, vooral van de linkerkamer. Als de halvemaaanvormige kleppen zijn opengedrukt, is de bloeddruk in de hartkamers gelijk aan die in de aangesloten slagaders. De hoge bloeddruk in de slagaders wordt opgevangen doordat de elastische wand van de slagaders uitzet. De bloeddruk daalt daardoor iets. Als het samentrekken van de hartkamers is voltooid, nemen de terugverende elastische wanden van de slagaders de pompende kracht over.

De maximale druk op het moment dat de kamers zich samentrekken is de **bovendruk (systolische druk)**. De minimale druk tijdens de hartpauze is de **onderdruk (diastolische druk)**. Bloeddruk wordt opgegeven als bovendruk/onderdruk in mm Hg. Een bloeddruk rond de 120/80 mm Hg is normaal. De bloeddruk varieert gedurende de dag. Tijdens lichamelijke inspanning of bij stress kan de bovendruk hoger zijn.

Een voortdurend hoge bloeddruk of **hypertensie** ontstaat als de wanden van de slagaders onvoldoende meeveren met het samentrekken van de hartkamers. Het kan worden veroorzaakt door stress, roken, overgewicht, vaak zout eten en door slagaderverkalking (**atherosclerose**). Slagaderverkalking begint met afzetting van cholesterol tegen de wand van bloedvaten. Uiteindelijk wordt ook kalk afgezet, waardoor de elasticiteit van de vaatwand vermindert en de vaten vernauwen. Sterk verkalkte bloedvaten hebben een ruwe binnenkant, waardoor bloedplaatjes kapot kunnen gaan. Hierdoor kunnen zich gemakkelijk bloedstolsels in de

▼ **Afb. 30** Meting van de bloeddruk.



bloedvaten vormen. Als door zo'n bloedstolsel een bloedvat verstopt raakt, noem je dat **trombose**.

Raken een of meer vertakkingen van een kransslagader verstopt (meestal als gevolg van slagaderverkalking), dan krijgt een deel van de hartspier geen zuurstof en voedingsstoffen meer. Dit deel sterft dan af. Zo'n **hartinfarct** kan dodelijk zijn als een groot deel van de hartspier afsterft. De meeste hartpatiënten krijgen echter eerst een 'waarschuwing', waarbij een kleine aftakking van de kransslagader verstopt raakt. Als het hart in goede conditie is, kunnen nieuwe aftakkingen ontstaan (meestal vanaf een ander bloedvat) die de taak overnemen.

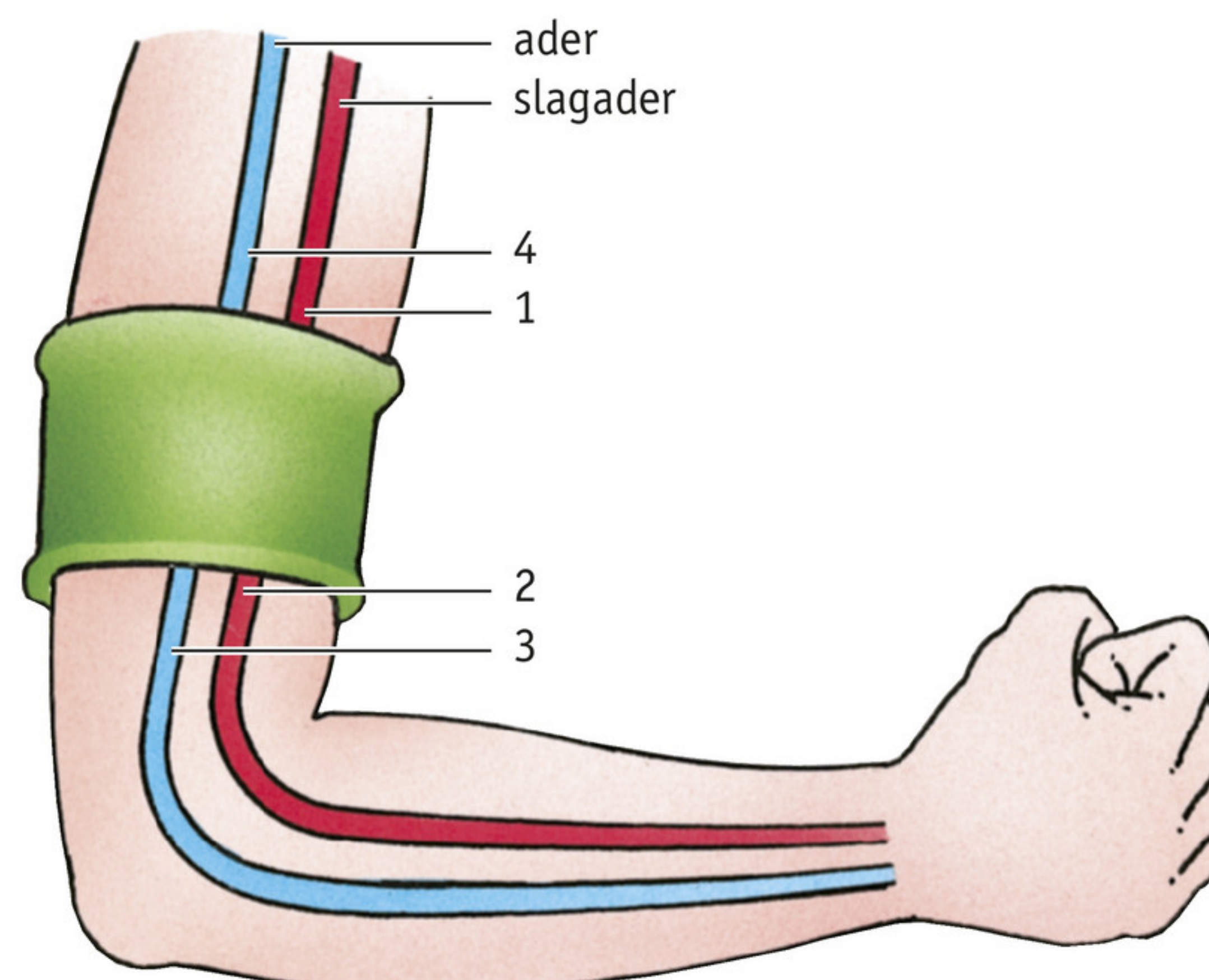
METING VAN DE BLOEDDRUK

De meting van de bloeddruk gaat als volgt (zie afbeelding 30). In een manchet om de bovenarm wordt lucht gepompt tot de armslagader wordt dichtgedrukt en er geen polsslag meer voelbaar is. De druk in de manchet is dan hoger dan de bovendruk. De manchet bevindt zich op harthoogte. De onderarm ligt ontspannen op tafel. De arts laat de lucht ontsnappen uit de manchet tot bij elke samentrekking van de hartkamer de armslagader net een beetje wordt opengedrukt. Zodra de arts dit **vaatgeruis** met de stethoscoop kan horen, is de druk in de manchet gelijk aan de bovendruk (gemiddeld 120 mm Hg). Hierna laat de arts nog meer lucht ontsnappen. Het bloed stroomt uiteindelijk ongestoord door de slagader. Zodra geen vaatgeruis meer hoorbaar is, is de druk in de manchet gelijk aan de onderdruk (gemiddeld 80 mm Hg).

opdrachten

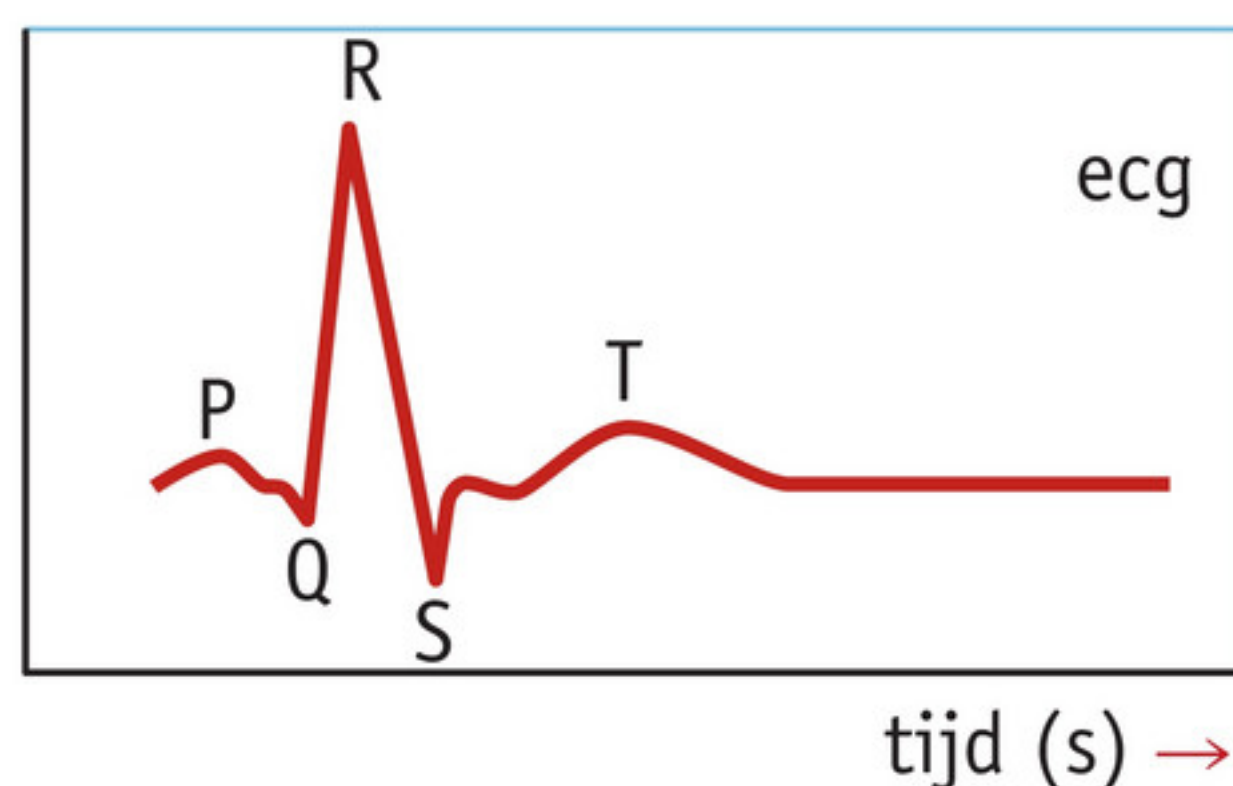
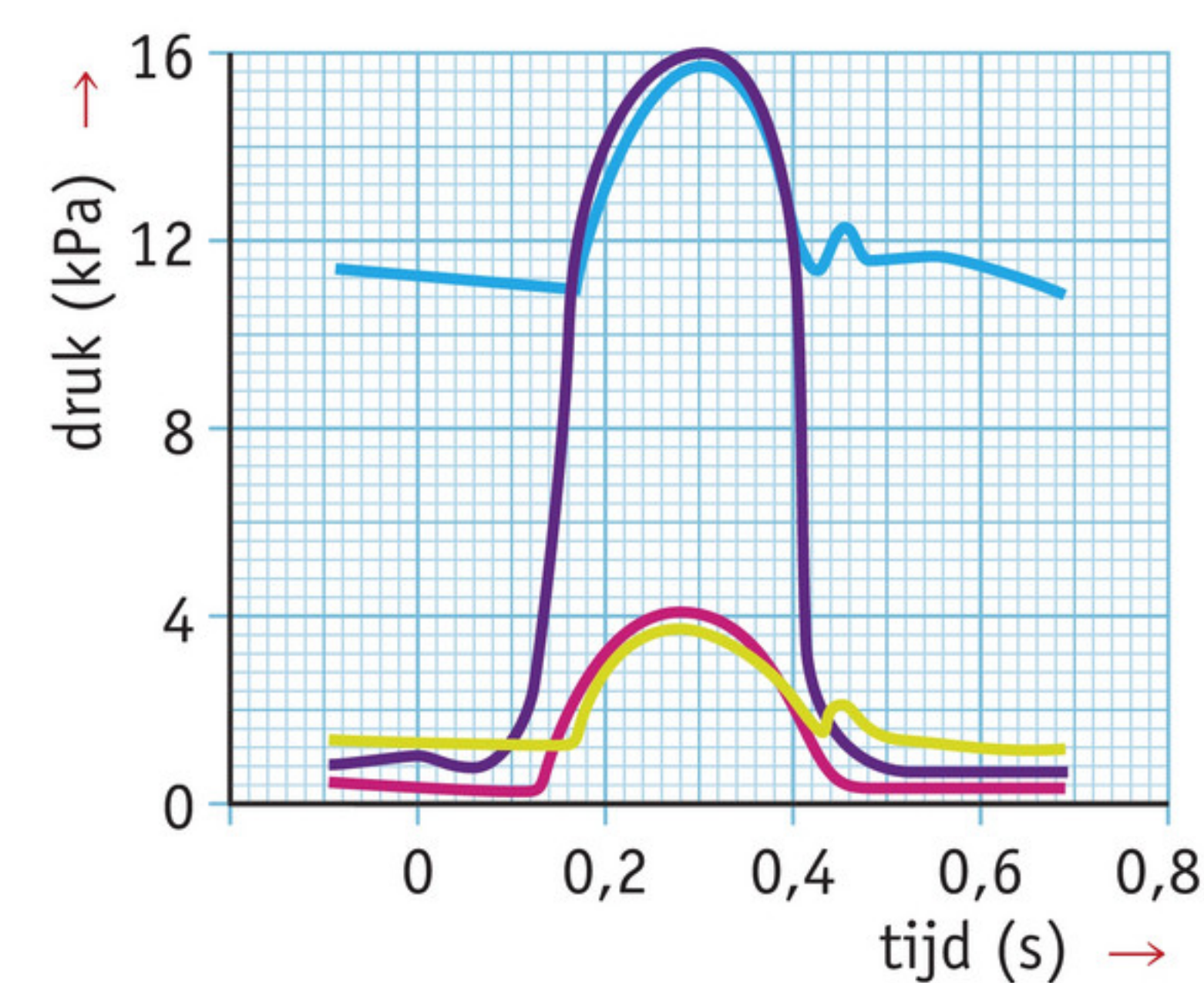
- 34 Een arts verricht een bloeddrukmeting bij een persoon (zie afbeelding 31). De manchet om de bovenarm is aangebracht en opgepompt, de arts is nog niet begonnen met het laten leeglopen van de manchet.
- Op welk van de aangegeven plaatsen is de bloeddruk op dit moment het laagst? Leg je antwoord uit.
 - Vervolgens laat de arts de manchet geleidelijk leeglopen. Op welk van de aangegeven plaatsen stijgt de bloeddruk hierdoor het eerst? Leg je antwoord uit.
 - Op welk van de aangegeven plaatsen zal de arts vaatgeruis kunnen horen?
 - De bloeddruk kan worden gemeten met een manchet om de bovenarm of met een digitale polsbloeddrukmeter. Welke meetmethode heeft de hoogste validiteit? Licht je antwoord toe.

► **Afb. 31** Aders en slagaders boven en onder een manchet.



- 35 Het verschil tussen de systolische druk en de diastolische druk heet de polsdruk.
- Bepaal de gemiddelde toename in procenten van de polsdruk voor personen tussen 20 en 60 jaar. Gebruik hiervoor *Binas* tabel 84E.
 - Leg uit waardoor de polsdruk meestal toeneemt met het ouder worden.
- 36 Roken, stress en bepaalde voedingsgewoonten vergroten de risico's op hoge bloeddruk en hart- en vaatziekten. Wellicht ken je in je directe omgeving mensen met risicogedrag.
- Maak met een medeleerling een pakkend videofilmje van een halve minuut om het risicogedrag van deze mensen te veranderen.
 - In het belang van de volksgezondheid besluiten de overheid en de verzekeraars om de premie voor mensen met risicogedrag te verhogen. Bespreek deze maatregel met een medeleerling. Bedenk minstens één argument voor en één argument tegen de maatregel.

▼ **Afb. 32** Het drukverloop in delen van het hart en slagaders in relatie tot de hartactiviteit.



Legenda:

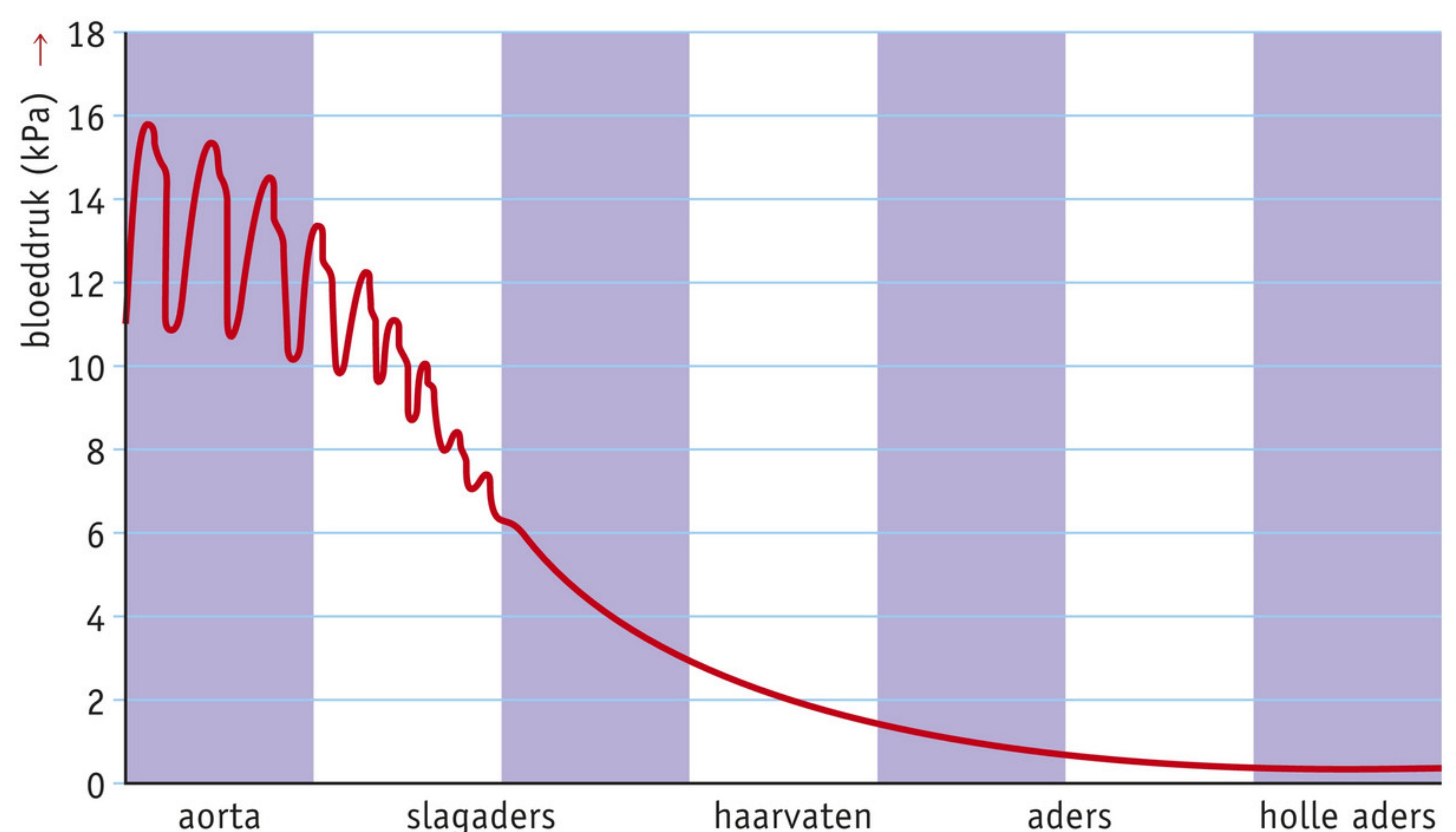
- P = systole boezem
Q, R, S = systole kamer
T = rust
- aorta
— linkerkamer
— longslagader
— rechterkamer

VARIATIE IN BLOEDDRUK EN STROOMSNELHEID

Als de systole van de kamers is voltooid, nemen de terugverende elastische wanden van de slagaders de pompende kracht over. Die beweging voel je op plaatsen waar slagaders minder diep in het lichaam liggen, bijvoorbeeld in je polsen en in je hals.

In afbeelding 32 (boven) en 33 zie je hoe de bloeddruk in een slagader sterk varieert onder invloed van de hartslag. De toppen van de grafiek geven de bloeddruk weer tijdens de systole van de hartkamers, de dalen de bloeddruk tijdens de diastole van de hartkamers. In de stroomrichting van het bloed neemt de bloeddruk voortdurend af.

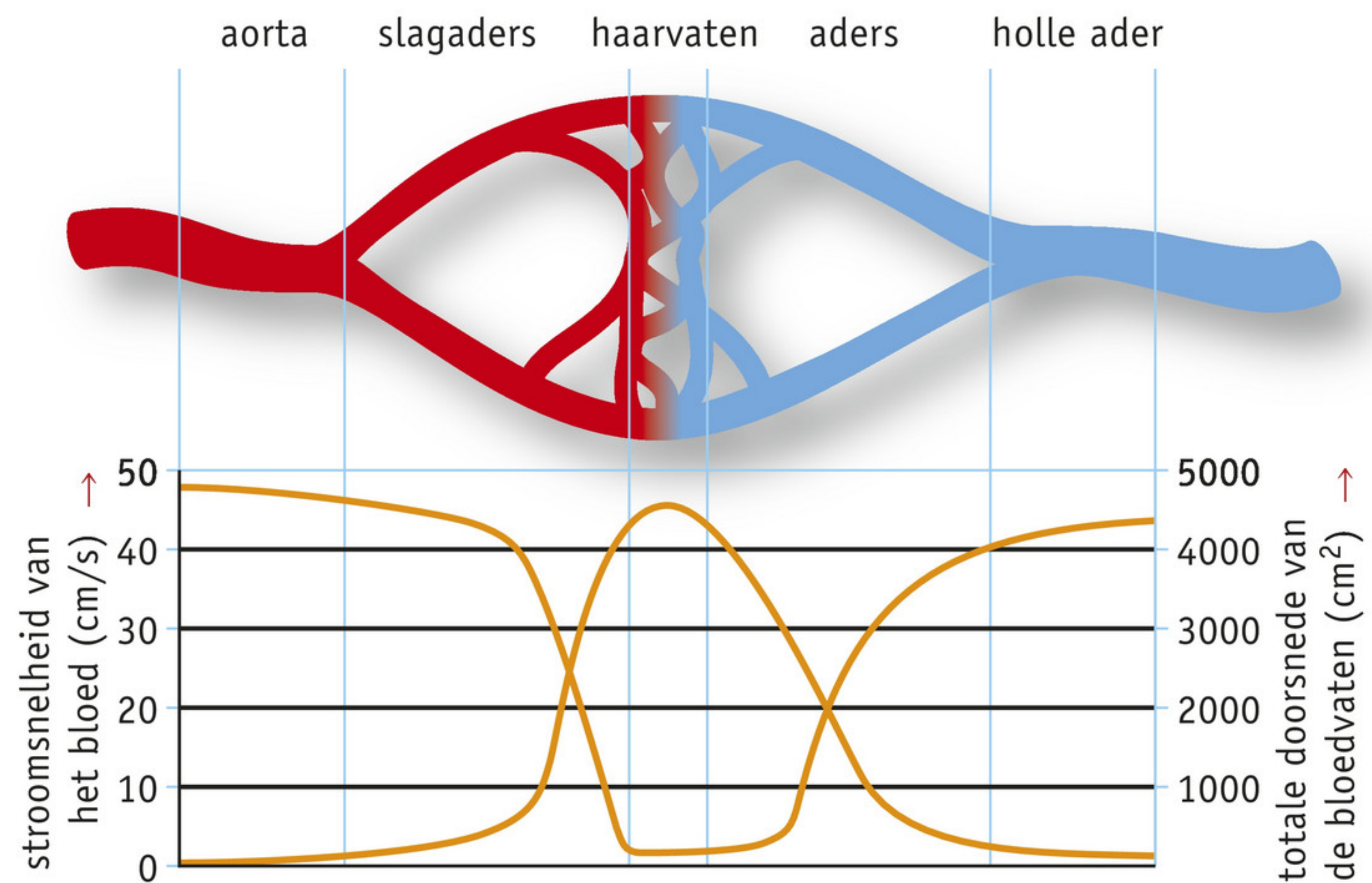
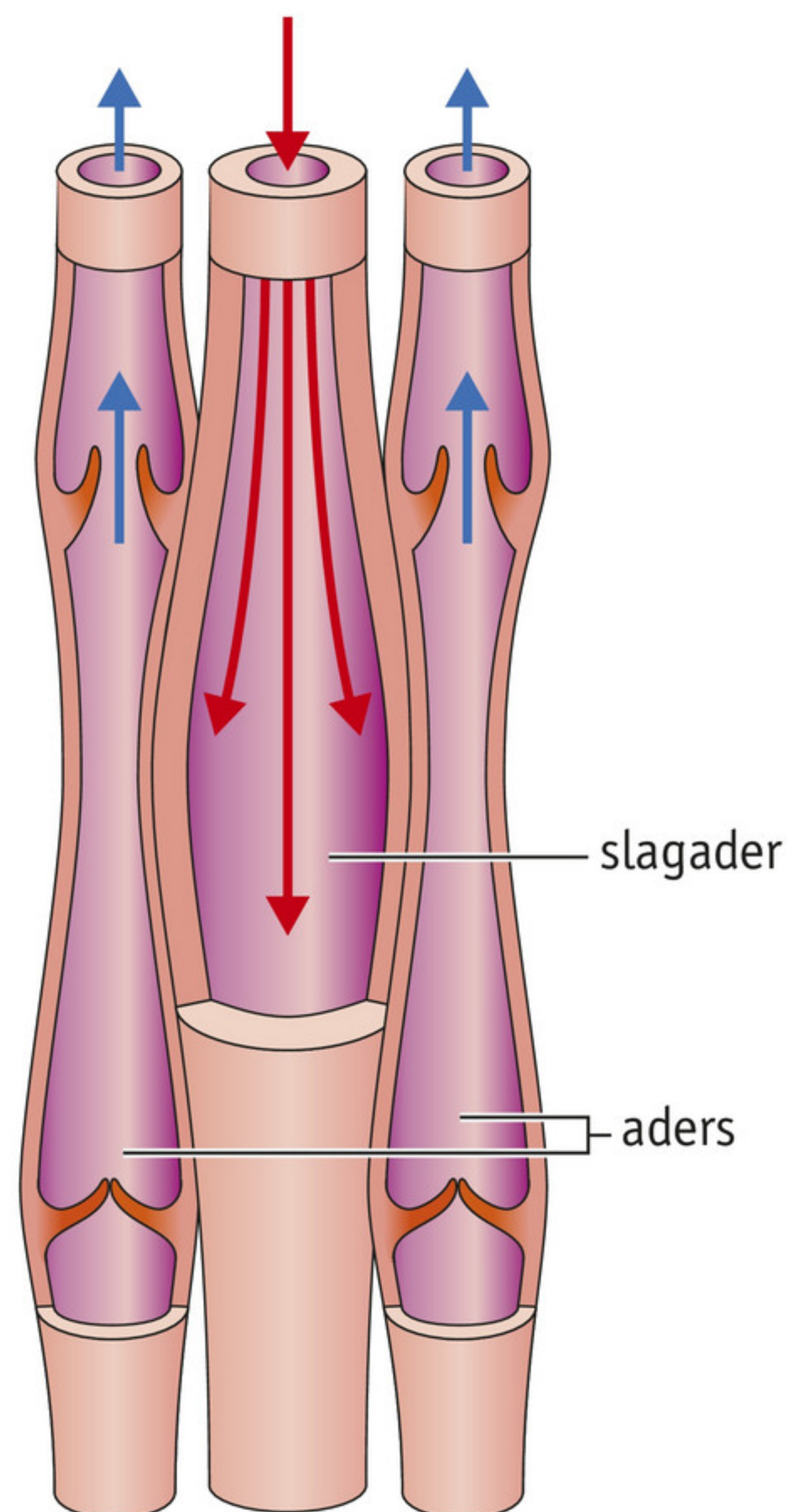
▼ **Afb. 33** De bloeddruk in verschillende typen bloedvaten (10 kPa = 75 mm Hg).



De stroomsnelheid van het bloed varieert (zie afbeelding 34). In de haarvaten is de stroomsnelheid van het bloed het laagst. Dat komt doordat de totale doorsnede van alle haarvaten samen groter is dan die van de aanvoerende slagaders of afvoerende aders. Door de lage stroomsnelheid van het bloed in de haarvaten is een goede uitwisseling van stoffen tussen het bloed en de omringende cellen mogelijk.

► **Afb. 34** Het verband tussen de stroomsnelheid van het bloed en de totale doorsnede bij verschillende typen bloedvaten.

▼ **Afb. 35** Stimulering van de bloedstroom in de aders door een naastgelegen slagader.

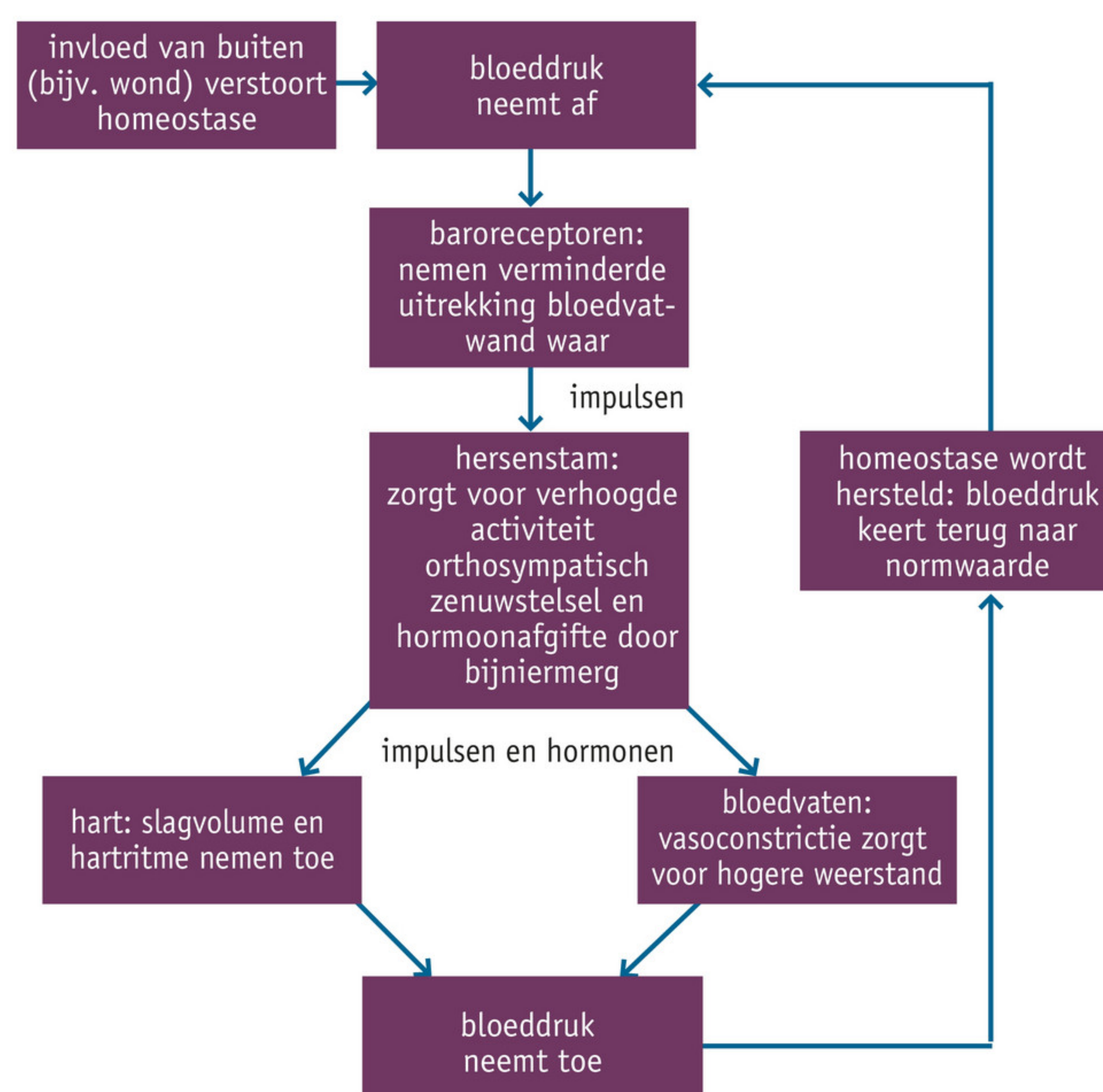


In de armen en benen is de bloeddruk in de aders vaak te laag om de bloedstroom op gang te houden. In de benen liggen de aders tegen slagaders aan (zie afbeelding 35). De kloppende slagaders veroorzaken een stootsgewijze druk op het bloed in de aders. Ook beenspieren die zich samentrekken, kunnen het bloed uit een ader wegdrukken. De kleppen voorkomen daarbij dat het bloed de verkeerde kant op stroomt.

REGELING VAN DE BLOEDDRUK

Door terugkoppelingsmechanismen blijft de bloeddruk min of meer constant. Veranderingen in de bloeddruk worden waargenomen door **baroreceptoren** in de wand van de halsslagaders en de aorta. Deze rekgevoelige zintuigcellen geven hun informatie door aan de hersenstam. Via het autonome zenuwstelsel wordt het hartritme en/of het slagvolume aangepast. Het autonome zenuwstelsel kan vasoconstrictie of vasodilatatie veroorzaken. Het gevolg van al deze effecten is dat de bloeddruk wordt teruggebracht tot de normwaarde (zie afbeelding 36).

► **Afb. 36** Negatieve terugkoppeling regelt de bloeddruk.



opdrachten

- 37 In de haarvaten is de stroomsnelheid van het bloed laag.
a Leg uit dat dit functioneel is.
b Welk verband bestaat er tussen de stroomsnelheid van het bloed en de totale doorsnede van de bloedvaten?
- 38 De gemiddelde bloeddruk neemt af van slagaders naar haarvaten naar aders.
a Verklaar dat dit drukverloop noodzakelijk is voor de bloedstroming.
b Is de bloeddruk in de longslagader lager dan, gelijk aan of hoger dan de bloeddruk in de aorta? Leg je antwoord uit.
- 39 a Is de regeling van het hartritme en de bloeddruk via zintuigcellen (sensoren) een voorbeeld van positieve of van negatieve terugkoppeling? Verklaar je antwoord.
b Welke invloed hebben de volgende veranderingen op de bloeddruk?
1 Plotseling bloedverlies door een verwonding.
2 De vernauwing van slagaders in een groot deel van het lichaam.
3 De versnelling van het hartritme.
4 Een stijging van de osmotische waarde van het bloedplasma.
c Leg uit welk belang het heeft dat de zintuigcellen voor de bloeddruk juist in de halsslagaders liggen.
- 40 Afbeelding 37 beschrijft een onderzoek naar de invloed van vitamine K2 op de vaatelasticiteit.
a Verklaar het verband tussen slagaderverkalking en de elasticiteit van bloedvaten.
b Leg uit dat verkalking van aders minder een probleem is dan verkalking van slagaders.
c Waarvoor is het belangrijk dat honderden vrouwen aan het onderzoek meewerkten?
d De controlegroep kreeg een placebo.
Leg uit waarom dat werd gedaan.
e Formuleer de conclusie voor dit onderzoek.

▼ Afb. 37

ONDERZOEK		DE INVLOED VAN VITAMINE K2 OP DE VAATELASTICITEIT
Inleiding	Uit onderzoek bleek dat een laag vitamine K2-gehalte in de vaatwand een ernstige risicofactor is voor overlijden aan hart- en vaatziekten, vergelijkbaar met roken.	
Onderzoeksvraag	Kan toediening van vitamine K2 slagaderverkalking voorkomen?	
Hypothese	Toediening van vitamine K2 kan slagaderverkalking voorkomen.	
Experiment	Honderden vrouwen tussen de 55 en 65 jaar kregen gedurende drie jaar gezuiverd vitamine K2 in lage dosering of een placebo toegediend als voedingssupplement.	
Resultaat	Slagaderverkalking werd niet alleen gestopt, maar de al verstijfde bloedvatwanden werden weer elastischer. Vitamine K2 remt ook de botontkalking bij vrouwen na de overgang.	
Conclusie		

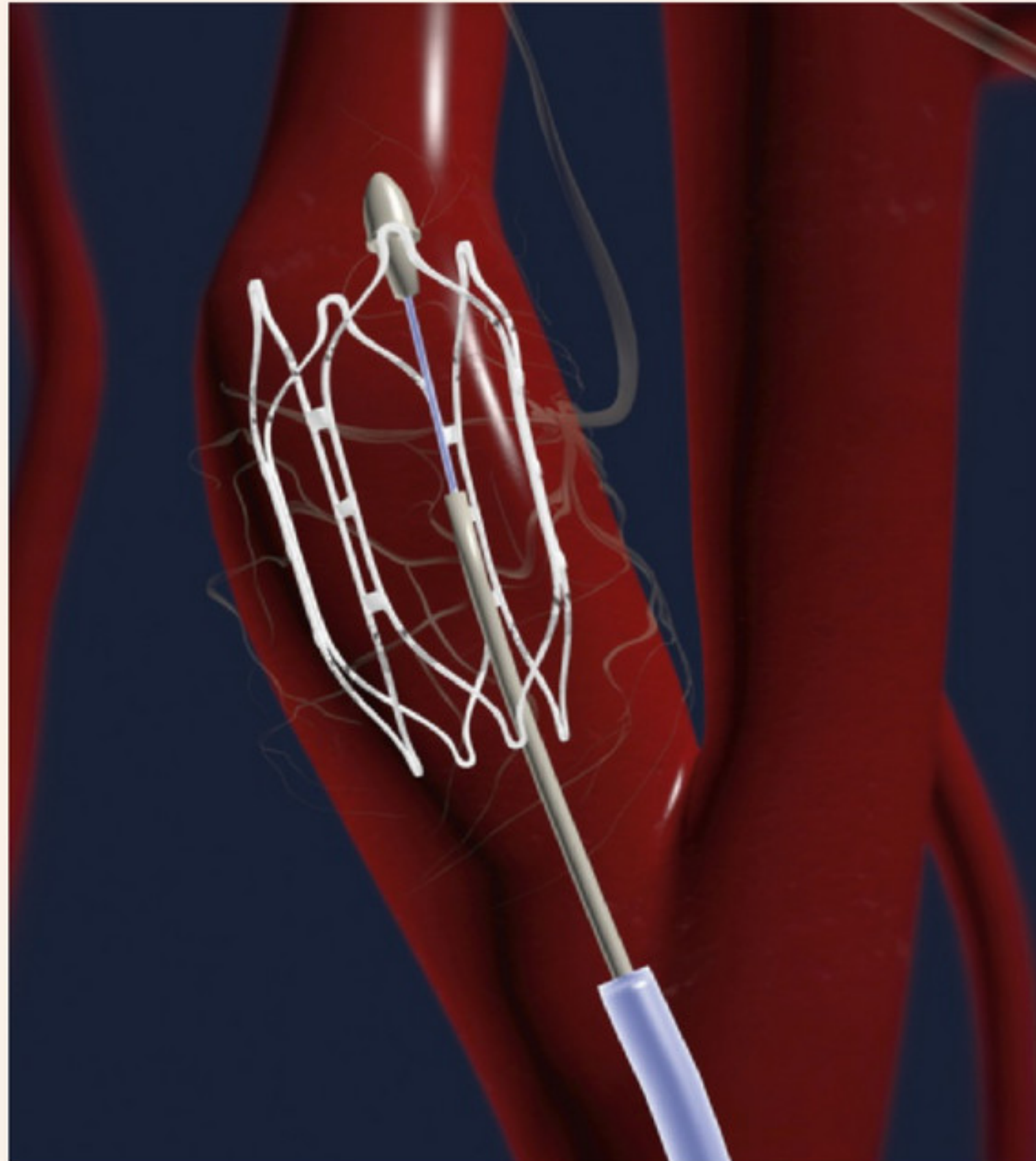
Bron: Maastricht University.

CONTEXT

Wetenschap

Hoge bloeddruk: een halszaak

▼ Afb. 38 Een stent.



Voor mensen met ongeneeslijke hoge bloeddruk lijkt er nu een oplossing te zijn. Een metalen stent op de receptor voor bloeddruk houdt het lichaam voor de gek en doet de bloeddruk dalen (zie afbeelding 38).

Op slimme plekken in het lichaam zitten baroreceptoren die de bloeddruk doorgeven aan de hersenen. Zo wordt de bloeddruk steeds bijgesteld op normniveau. De stent wordt met een katheter via de lies opgeschoven naar de halsslagader. Het veertje moet precies op de plek komen waar de sensoren zitten. Het metalen veertje rekt de wand van de halsslagader op. Bij alle dertig proefpersonen met therapieresistente hypertensie die het veertje kregen geïmplant, daalde de bloeddruk. Wereldwijd doen zo'n twintig ziekenhuizen in Europa en de Verenigde Staten mee aan het onderzoek. Bij de eerste groep is de veiligheid van de ingreep beoordeeld. Vervolgfragen zijn wat het effect van de stent op lange termijn is en of de patiënten hun reguliere medicijnen kunnen afbouwen. Voordat zeker is of de stent geschikt is voor de reguliere behandeling van hoge bloeddrukpatiënten, moet de ingreep nog dubbelblind worden vergeleken met een placebobehandeling.

opdrachten

- 41 De receptoren voor bloeddruk zitten in de aortaboog en in de halsslagaders.
 - a Waarom zijn dit 'slimme' plekken?
 - b De regeling van de bloeddruk is een voorbeeld van negatieve terugkoppeling.
Beschrijf in vier stappen hoe met behulp van de stent de bloeddruk wordt verlaagd.
- 42 De stent is gemaakt van nitinol, een legering van nikkel en titanium. Dit materiaal heeft 'vormgeheugen': je kunt het helemaal indrukken, maar als je het loslaat, vouwt het zich weer terug in zijn oorspronkelijke vorm.
Noem nog twee eigenschappen van nitinol die het geschikt maken voor deze medische toepassing.
- 43
 - a Leg uit wat een dubbelblind onderzoek is.
 - b Wat is het belang van dubbelblind onderzoek?
 - c Beschrijf hoe een placebobehandeling eruit moet zien.

Leerdoelen

- Je kunt de bestanddelen van bloed noemen met hun kenmerken en functies.
- Je kunt het proces van bloedstolling beschrijven en je weet hoe complicaties bij bloedstolling kunnen worden voorkomen.

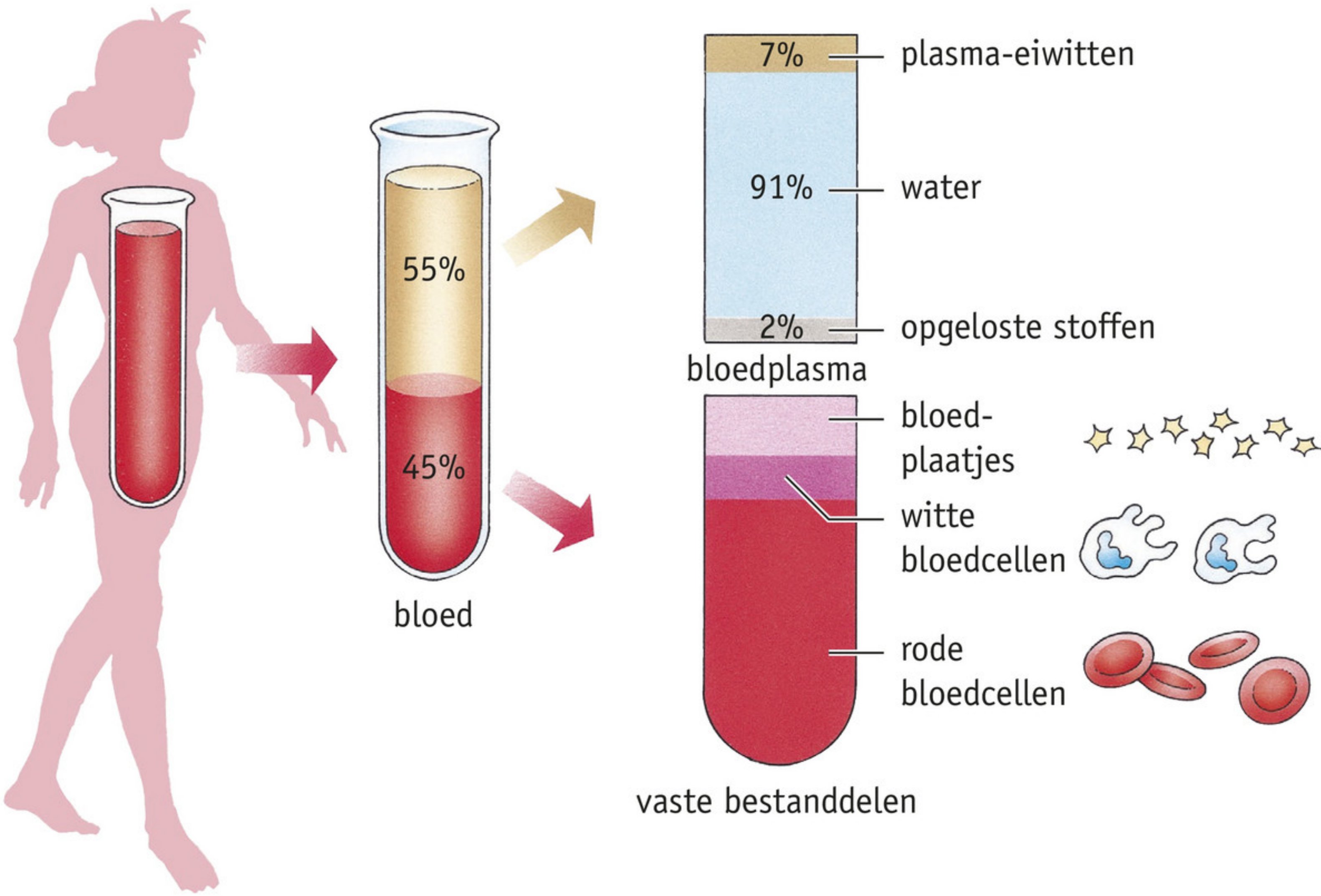
4 Het bloed

Je bloed is een bijzonder goedje. In de waterige vloeistof lossen bouwstoffen, afvalstoffen, brandstoffen, signaalstoffen en zelfs vetachtige stoffen op. Meedrijvende (delen van) cellen laden en lossen zuurstof, verwijderen indringers en zorgen ervoor dat lekkages worden gedicht.

BLOEDPLASMA

In afbeelding 39 zie je de gemiddelde samenstelling van het bloed van de mens. Ongeveer 55% van het bloed bestaat uit **bloedplasma**: water met opgeloste stoffen en **plasma-eiwitten** (albuminen, globulinen en fibrinogeen, zie afbeelding 40). Bloedplasma vervoert onder meer zuurstof, voedingsstoffen, afvalstoffen, regelende stoffen (zoals enzymen en hormonen) en beschermende stoffen (zoals antistoffen). Sommige van deze stoffen, bijvoorbeeld glucose, melkzuur en ureum, lossen goed op in het bloedplasma. Andere stoffen, waaronder vetten, worden gebonden aan globulinen en vormen zo lipoproteïnen. Bloedplasma speelt een rol bij het constant houden van het interne milieu. Bloedplasma heeft een vrij constante temperatuur van ongeveer 38 °C, een pH van ongeveer 7,4 en een osmotische waarde die gelijk is aan die van een 0,9% NaCl-oplossing (een fysiologische zoutoplossing). Plasma-eiwitten zijn belangrijk bij de handhaving van de osmotische waarde en de pH van het bloed en van de bloeddruk.

► **Afb. 39** Bloedsamenstelling (gemiddeld).



► **Afb. 40** Plasma-eiwitten.

Plasma-eiwitten	Functie
Albuminen	transport van stoffen (bijv. hemoglobine) en osmoregulatie
Globulinen	transport van stoffen (bijv. vetten) en immuniteit (antistoffen)
Fibrinogeen	bloedstolling

opdrachten

▼ Afb. 41 Bloedbezinking.

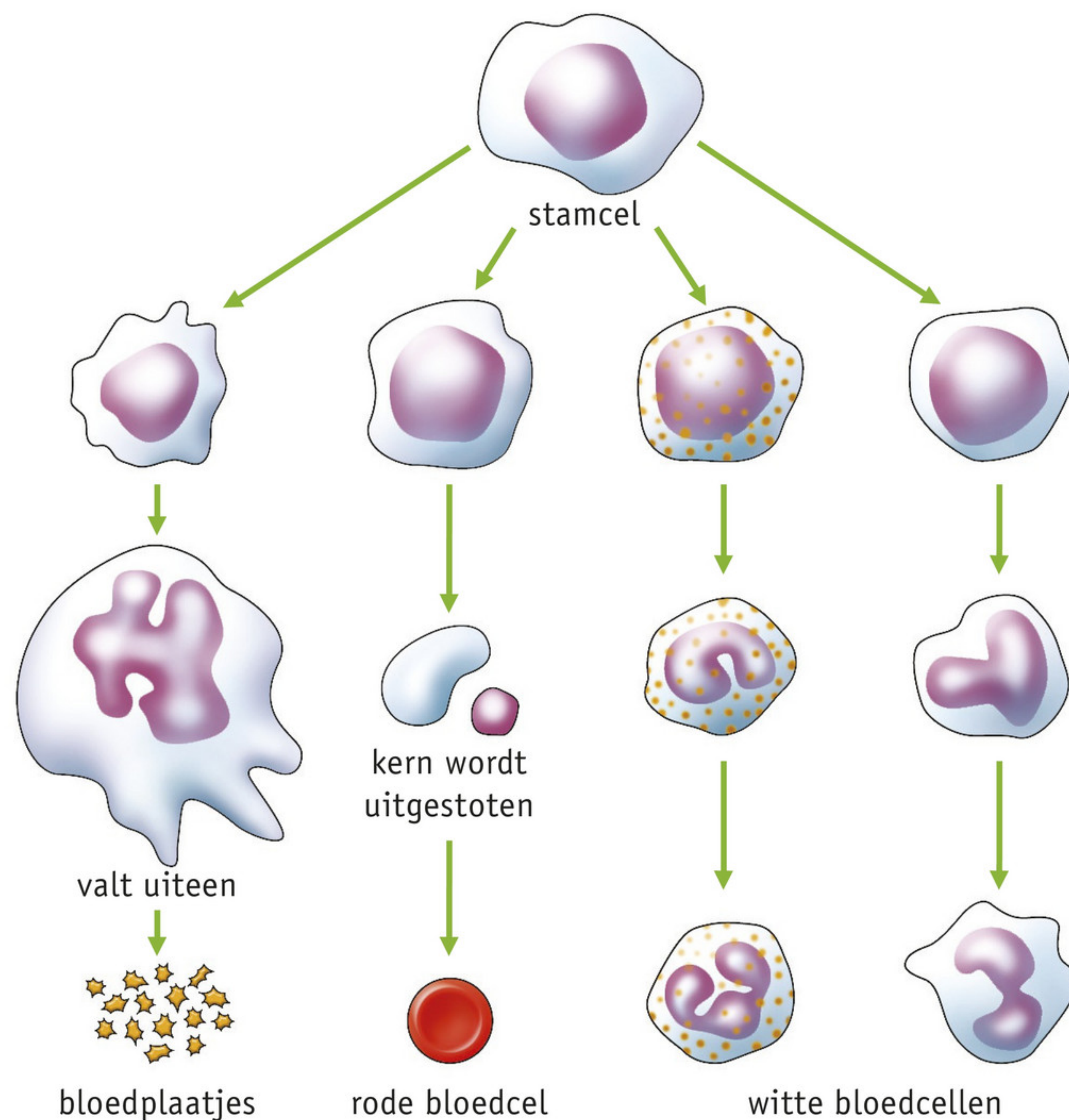


- 44 a Welke vaste bestanddelen komen in bloed het talrijkst voor? En welke het minst talrijk?
- b Welke rol spelen lipoproteïnen bij het transport van stoffen door het bloedplasma?
- c In bloedplasma komen verschillende metaalionen voor, zoals natrium, kalium en calcium. Ook bevat het fosfaationen, chloride-ionen en koolhydraten zoals glucose. Welke van deze stoffen spelen een rol bij de osmotische waarde van het bloed?
- 45 Afbeelding 41 is een foto van een reageerbuis met bloed. Dit bloed heeft enkele dagen gestaan.
- a Welk bestanddeel van bloed bevindt zich boven in de reageerbuis? En welke bestanddelen bevinden zich onderin?
- b Leg uit hoe het komt dat de bestanddelen bezinken.

BEENMERG

Rode en witte bloedcellen en bloedplaatjes ontstaan uit stamcellen in het rode beenmerg (zie afbeelding 42). Het **rode beenmerg** is een sponsachtig materiaal in de holten van botten, vooral in de wervels, in platte beenderen en in de uiteinden van pijpbeenderen. Naast het rode beenmerg is er geel beenmerg, waarin veel vetcellen zitten.

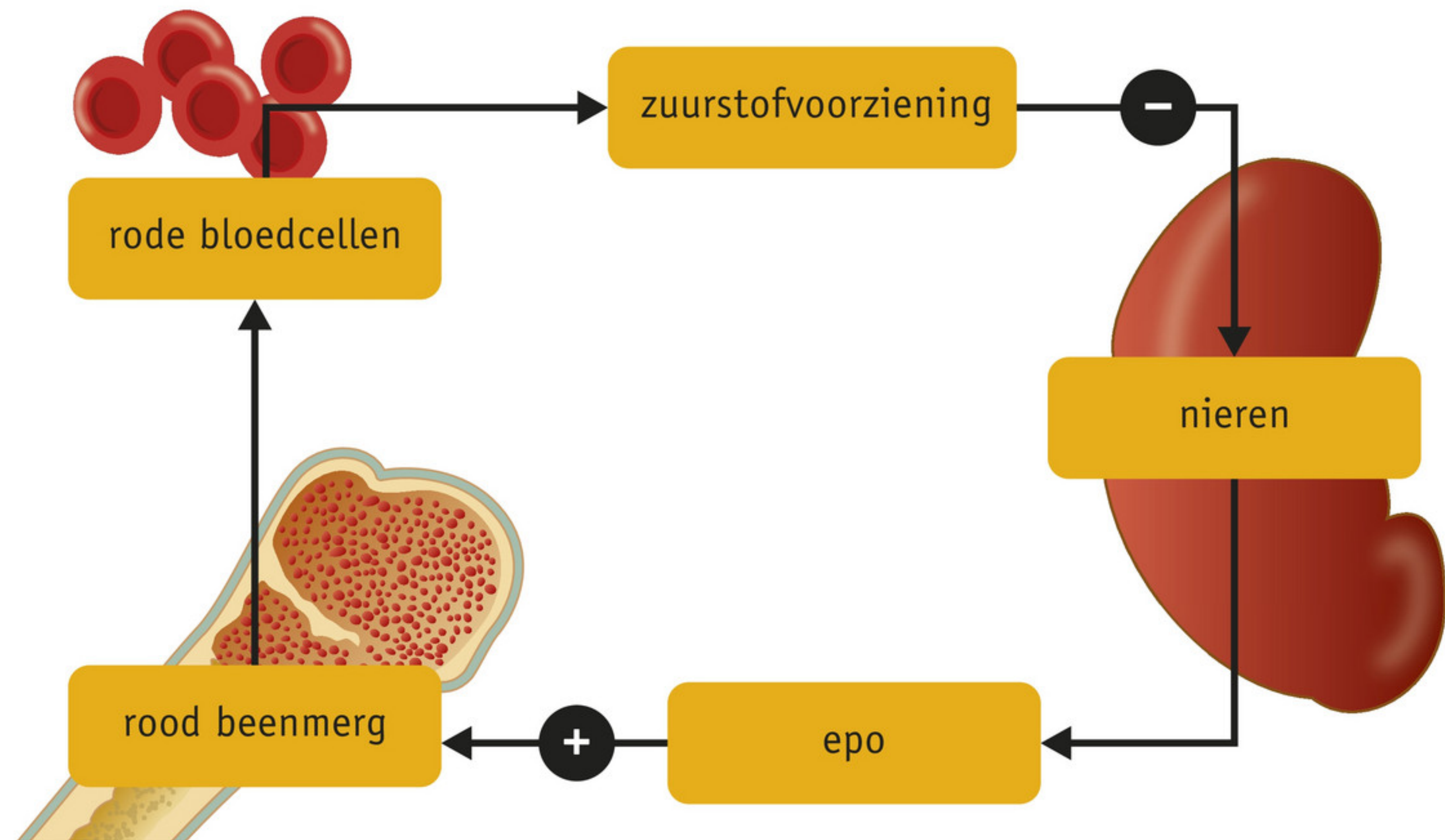
► Afb. 42 Het ontstaan van verschillende typen bloedcellen en bloedplaatjes (schematisch).



RODE BLOEDCELLEN

Rode bloedcellen (erythrocyten) zijn kleine ronde schijfjes, die in het midden dunner zijn dan aan de rand. Ze hebben geen celkern. Ze leven daardoor betrekkelijk kort: gemiddeld slechts vier maanden. Voortdurend worden in het rode beenmerg uit de stamcellen nieuwe rode bloedcellen gevormd (ongeveer twee

► **Afb. 43** Regeling van de productie van rode bloedcellen.



Rode bloedcellen bevatten **hemoglobine** (een eiwitmolecuul) dat de rode kleur aan het bloed geeft. Hemoglobine speelt een rol bij het transport van zuurstof en koolstofdioxide. Hemoglobine bevat ijzeratomen. Bij **bloedarmoede** bevat het bloed niet voldoende hemoglobine.

Dode rode bloedcellen worden afgebroken in het rode beenmerg, in de milt en in de lever. Het ijzer dat bij de afbraak vrijkomt, wordt weer benut bij de aanmaak van nieuwe rode bloedcellen.

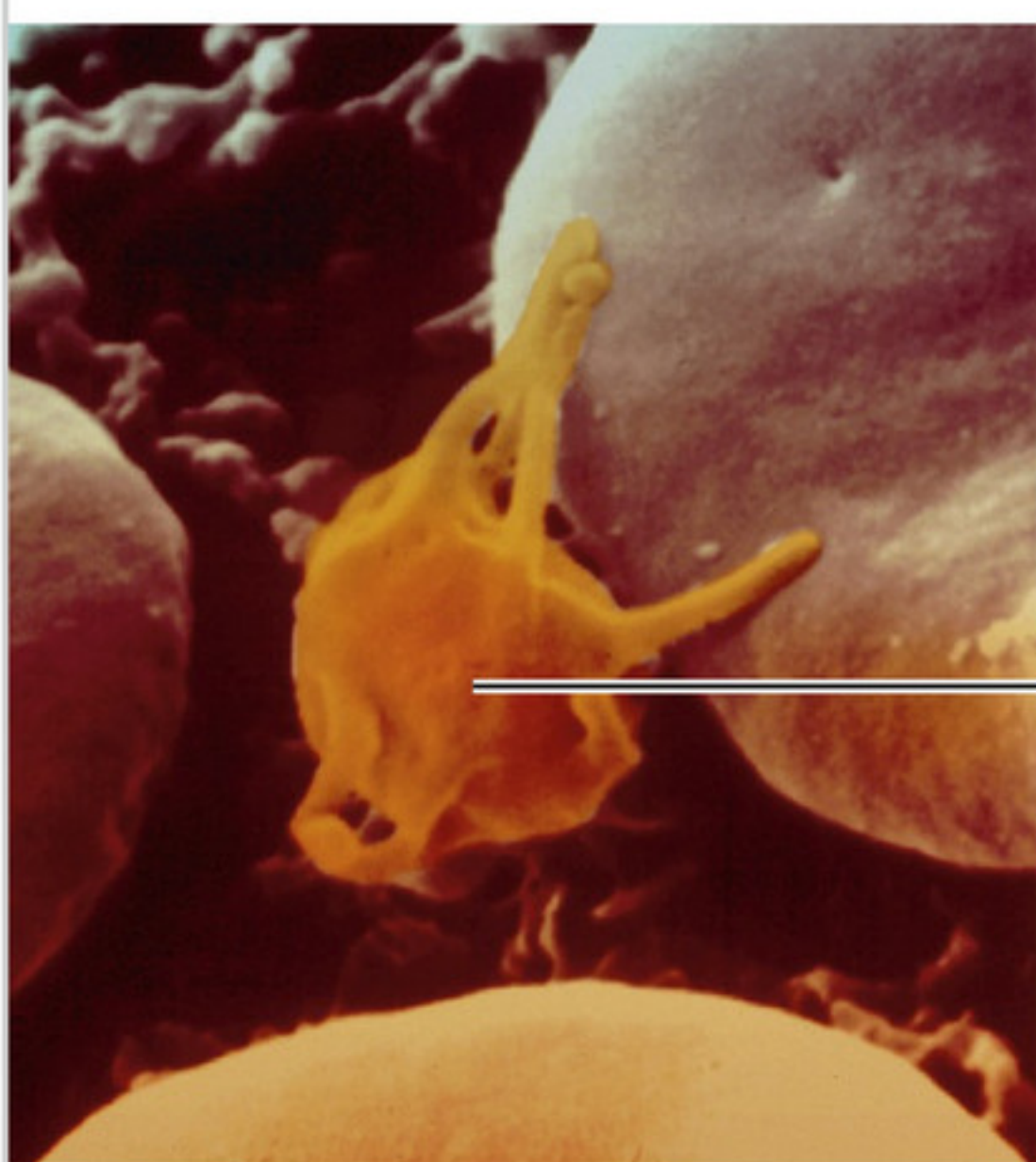
BLOEDPLAATJES

In afbeelding 44 zie je een bloedplaatje. **Bloedplaatjes (trombocyten)** zijn geen cellen, maar delen van uiteengevallen cellen. Ze vervullen een functie bij de **bloedstolling**, het proces waarbij bloed klontert en hard wordt.

In afbeelding 45 is weergegeven wat er gebeurt als een bloedvat stukgaat. Op verschillende manieren wordt het bloedverlies tegengegaan en wordt de wond zo snel mogelijk gedicht. Het bloedvat wordt nauwer. Aan de beschadigde en daardoor ruwe wand ontstaat een propje van bloedplaatjes. De bloedplaatjes vallen uiteen, waarbij stoffen vrijkomen (onder meer trombokinase). Ook uit de beschadigde cellen van de bloedvatwand komen stoffen vrij. De vrijkomende stoffen brengen een keten van reacties op gang, die leidt tot het ontstaan van een bloedstolsel. Hierbij zijn ook stoffen in het bloedplasma betrokken: het plasma-eiwit **fibrinogeen** en **stollingsfactoren** (onder meer calciumionen). Veel stollingsfactoren worden in de lever gevormd. Hierbij is meestal vitamine K nodig. Trombokinase bevordert de omzetting van het inactieve pro-enzym protrombine in **trombine**. Onder invloed van trombine wordt fibrinogeen uit het bloedplasma omgezet in **fibrine**. Fibrine vormt een netwerk van draden, waartussen de bloedcellen blijven hangen. Een bloedstolsel begint zich te vormen.

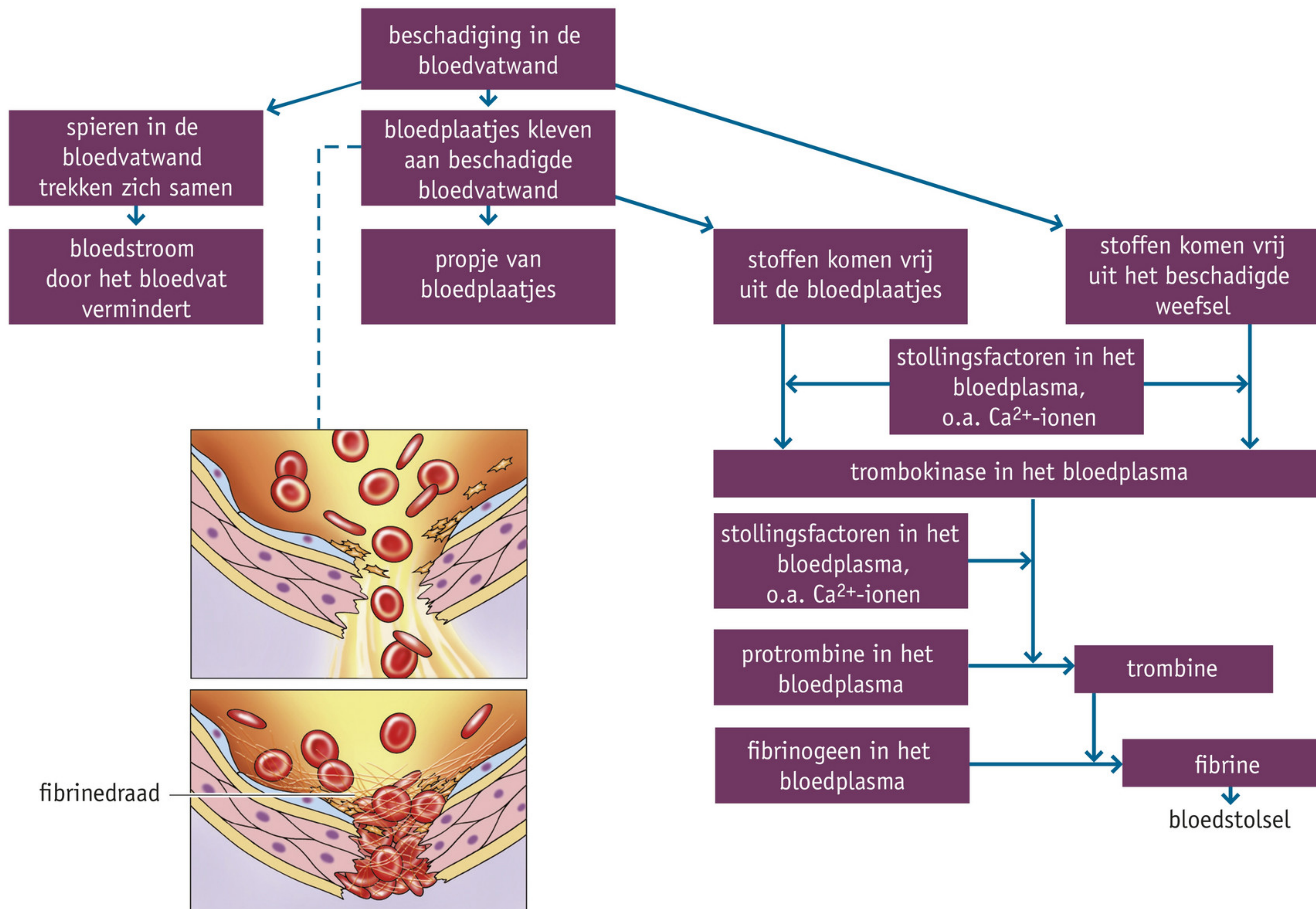
Aan een beginnend bloedstolsel blijven steeds meer bloedplaatjes kleven. Ook deze bloedplaatjes vallen uiteen, waardoor de keten van reacties blijft doorgaan tot het bloedstolsel de wond geheel afsluit. Als het bloedstolsel is gevormd, trekken de fibrinedraden zich samen, waardoor de randen van de wond naar elkaar toe worden getrokken. Uit het stolsel wordt een vloeistof geperst: het **bloedserum**.

▼ **Afb. 44** Bloedplaatje tussen rode bloedcellen (SEM, vergroting 100 000×).



bloedplaatje

▼ Afb. 45 Het proces van bloedstolling.



Bloedserum is bloedplasma zonder fibrinogeen. Door verdere indroging ontstaat uit het bloedstolsel een korstje. Na verloop van tijd worden de fibrinedraden langzaam afgebroken. Het korstje laat dan los. De wond is ondertussen al genezen.

WITTE BLOEDCELLEN

Witte bloedcellen (leukocyten) zijn betrokken bij de afweer tegen ziekten. Ze hebben een celkern, maar geen vaste vorm. Daardoor kunnen ze door de wand van haarvaten heen. Uit de stamcellen in het rode beenmerg ontwikkelen zich verschillende typen witte bloedcellen. De meeste witte bloedcellen bestrijden bacteriën door deze in te sluiten (fagocytose). Als de witte bloedcellen hierbij zelf doodgaan, ontstaat etter of pus. Daarin komen vrijwel altijd ook nog levende bacteriën voor. Andere witte bloedcellen produceren antistoffen die ziekteverwekkers onschadelijk maken, of ervoor zorgen dat na een infectie de resten van dode cellen worden opgeruimd.

►► PRACTICUMOPDRACHT 4

opdrachten

- 46 Rode bloedcellen zijn niet bolvormig, maar afgeplat en ingedeukt. Welk voordeel heeft deze vorm voor het functioneren van de rode bloedcellen?

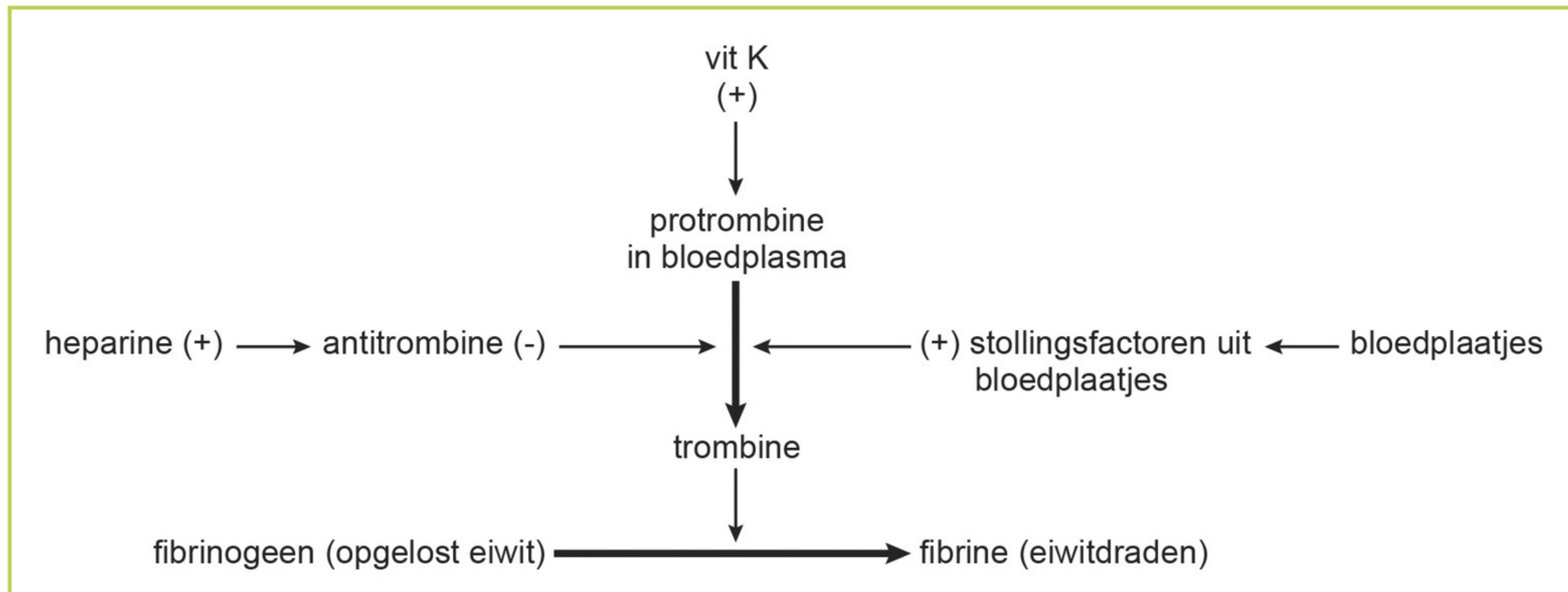
- 47 a Leg uit dat de wisselwerking tussen de aanmaak van rode bloedcellen en de productie van epo een voorbeeld is van negatieve terugkoppeling.
b Synthetische epo werd bij duursporten (vooral wielrennen) gebruikt als doping.
Verklaar het voordeel van het gebruik van epo voor duursporters.
c Leg uit dat toediening van epo bij iemand met bloedarmoede niet zal helpen. Gebruik in je antwoord het begrip 'beperkende factor'.
- 48 Witte bloedcellen kunnen hun functie ook buiten de bloedvaten vervullen.
a Welke eigenschap van de witte bloedcellen maakt dat mogelijk?
b Etter of pus ontstaat doordat witte bloedcellen doodgaan bij het insluiten van bacteriën.
Waarom moet je voorzichtig zijn met etter of pus?
- 49 Een onderzoeker vult drie reageerbuizen met gelijke hoeveelheden vloeistof, afkomstig van dezelfde persoon. Buis 1 bevat bloed, buis 2 bloedplasma en buis 3 bloedserum. De buizen worden verhit totdat al het water is verdampt en er alleen droge stof overblijft.
a Welke buis bevat dan de grootste hoeveelheid droge stof? Leg je antwoord uit.
b Welke buis bevat dan de kleinste hoeveelheid droge stof? Leg je antwoord uit.
- 50 Bij een harde stoot komt er bloed tussen de weefselcellen. Door bloedstolling ontstaat een blauwe plek die later geel en groen wordt.
a Welke stof wordt op de beschadigde plaats bij het stollen van het bloed gevormd?
b Een blauwe plek verkleurt doordat een bepaalde stof uit de rode bloedcellen wordt afgebroken.
Welke stof is dat?
c Een blauwe plek verdwijnt na enige tijd.
Leg uit welke bloedbestanddelen daarvoor zorgen.
- 51 Bij mensen en andere zoogdieren komen voortdurend kleine inwendige bloedingen voor. Door bloedstolling stoppen deze bloedingen.
a Bij hemofilie (bloederziekte) ontbreekt een bepaalde stollingsfactor in het bloed.
Leg uit waardoor bij iemand met hemofilie het bloed niet goed stolt.
b Sommige rattenverdelgingsmiddelen bevatten anticoagulantia: stoffen die bloedstolling tegengaan.
Welke gevolgen heeft het eten van zo'n verdelgingsmiddel voor een rat?
- 52 Trombose is een ziekte bij mensen, waarbij ongewenste stolling in de bloedvaten optreedt. Om deze stolling tegen te gaan, wordt aspirine gebruikt. Dit remt de klontering van bloedplaatjes. Een stof uit het speeksel van bloedzuigers zou weleens beter kunnen werken. Deze wormen leven van het bloed van waterdieren (zie afbeelding 46). Het speeksel van bloedzuigers bevat hirudine, dat het enzym trombine remt.
a Wat is de functie van hirudine in het speeksel van bloedzuigers?
b In afbeelding 47 staat een vereenvoudigd schema van de bloedstolling. In het schema zijn met een – remming en met een + stimulering van omzettingen of werking aangegeven.
Welke stof wordt bedoeld met 'stollingsfactoren uit bloedplaatjes'?

▼ **Afb. 46** Bloedzuiger (*Malmiana virgata*) op een Japanse schar.



- c Geef met behulp van pijlen aan op welke plaats in het schema de stoffen aspirine en hirudine aangrijpen, zoals in afbeelding 47 is gedaan voor antitrombine. Gebruik + en – om aan te geven op welke wijze ze de reactie beïnvloeden.
- d Veroorzaakt een trombose meer problemen in een ader of juist in een slagader? Licht je antwoord toe.
- e Waarom zou hirudine bij trombose wel eens beter kunnen werken dan aspirine?

▼ **Afb. 47** Vereenvoudigd schema van de bloedstolling.



CONTEXT

Wetenschap

Blauw bloed

▼ **Afb. 48** Blauw bloed uit degenkrabben.



Niet alle dieren hebben rood bloed. Het bloed van het hagedissengeslacht skink (*Prasinohaema*) op Nieuw-Guinea is groen door galkleurstof. De ruim dertig soorten krokodilijsvissen van de familie Channichthyidae hebben kleurloos (transparant) bloed. Het gemis aan hemoglobine wordt gecompenseerd door een groter hart, meer bloed, een dichter bloedvatennetwerk en het ontbreken van schubben. In het ijskoude water rond de Zuidpool lost zuurstof goed op. Het bloed van inktvissen en degenkrabben (*Limulus polyphemus*) is blauw. Dat komt door de in het plasma opgeloste kleurstof hemocyanine. In plaats van ijzer zit er koper in dit zuurstofbindend eiwit. Degenkrabbloed wordt op grote schaal gebruikt voor de controle van medische apparatuur op besmetting met bacteriën. Het bloed bevat namelijk een stof die reageert op bacteriën en daarbij een bloedprop vormt. Daarvoor wordt jaarlijks bij zo'n half miljoen krabben bloed afgetapt (zie afbeelding 48). Na deze 'blauwbloeddonatie' worden de krabben weer teruggezet in de natuur. Ook bij mensen komen trouwens families voor met blauw bloed. Maar bij donatie is dit bloed gewoon rood.

opdrachten

- 53 In de context worden verschillende niveaus van ordening genoemd.
 - a Rangschik de niveaus familie, geslacht en soort in de juiste volgorde van klein naar groot.
 - b Tot welk geslacht behoort de degenkrab?

- 54** Verschillende stoffen geven kleur aan het bloed.
- a** Welke drie kleurstoffen veroorzaken de rode, blauwe en groene bloedkleur?
 - b** Wat is de functie van de rode en de blauwe stof in bloed?
 - c** Ijsvissen hebben nauwelijks kleurstof in hun bloed. Het bloed is transparant. Geef twee redenen waarom de antarctische ijsvissen geen kleurstof nodig hebben.
 - d** De ijsvis heeft aanpassingen zoals een groter hart, meer bloed en een dichter bloedvatennetwerk.
In welke situatie zijn die aanpassingen vooral van belang?
 - e** Het ontbreken van schubben kan ook helpen bij de zuurstofvoorziening van de ijsvis. Leg dat uit.
- 55** Verklaar dat van bepaalde mensen wordt gezegd dat ze ‘blauw bloed’ hebben.

Leerdoel

- Je kunt de kenmerken en functies van weefselvloeistof en lymfe toelichten.

5 Weefselvloeistof en lymfe

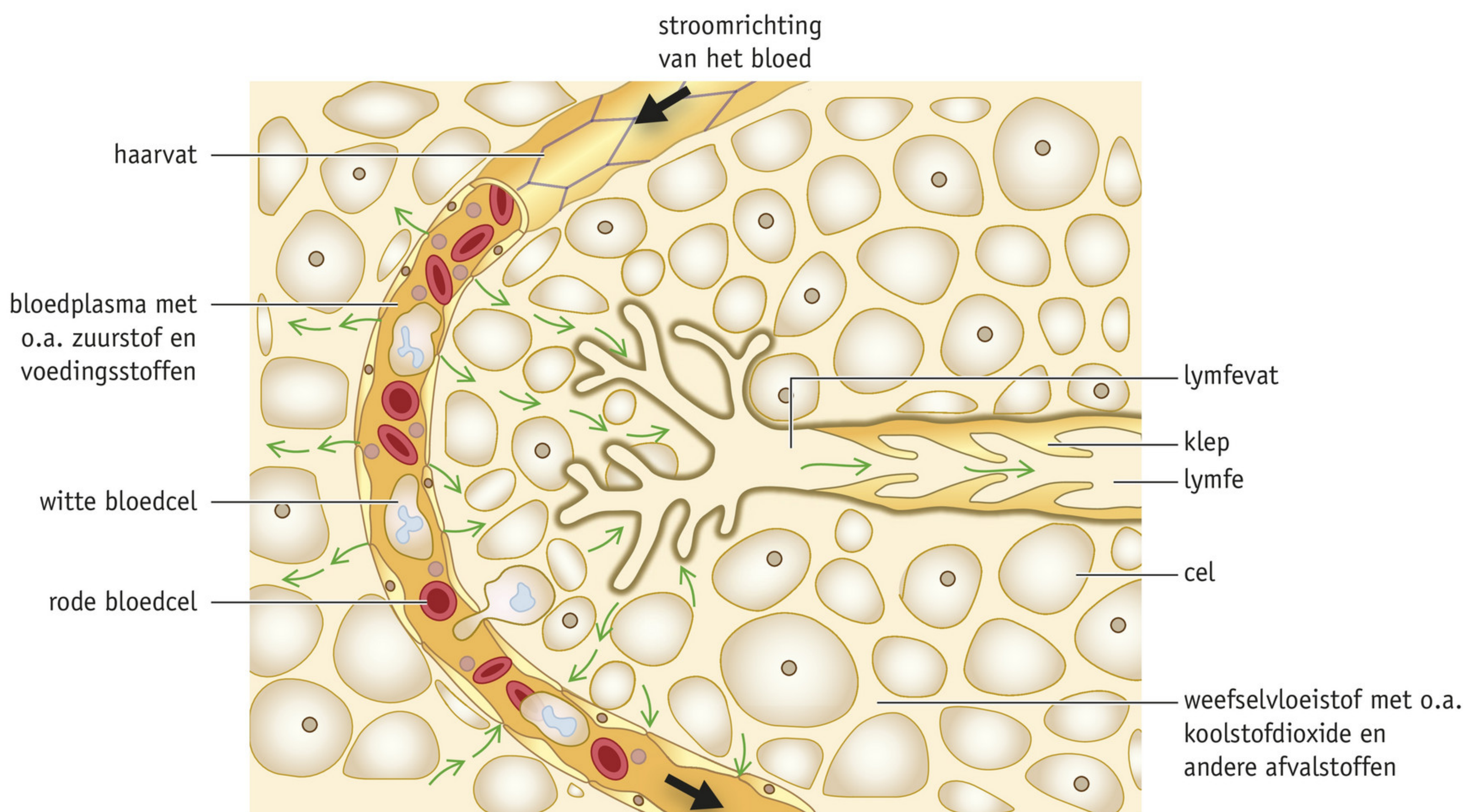
Door nauwe bloedvaatjes doorkruist het bloed de weefsels. Plasma met opgeloste stoffen vloeit door gaatjes in de haarvatwand naar de weefselcellen. Door een doolhof van celtussenruimten slalomt de weefselvloeistof terug naar een haarvat of naar een 'afvoerputje'.

AANVOER VAN WEEFSELVLOEISTOF

Aan het begin van een haarvat is de bloeddruk hoger dan de druk in het omliggende weefsel. Een deel van het bloedplasma wordt hierdoor uit de haarvaten in het weefsel geperst (**filtratie**). De kracht waarmee dit gebeurt, noem je de **filtratiedruk**. Eenmaal in het weefsel buiten de haarvaten wordt dit vocht **weefselvloeistof** genoemd. Het bevat onder andere zuurstof, voedingsstoffen, hormonen en kleine plasma-eiwitten, zoals antistoffen. Ook witte bloedcellen kunnen de haarvaten verlaten en in weefselvloeistof voorkomen.

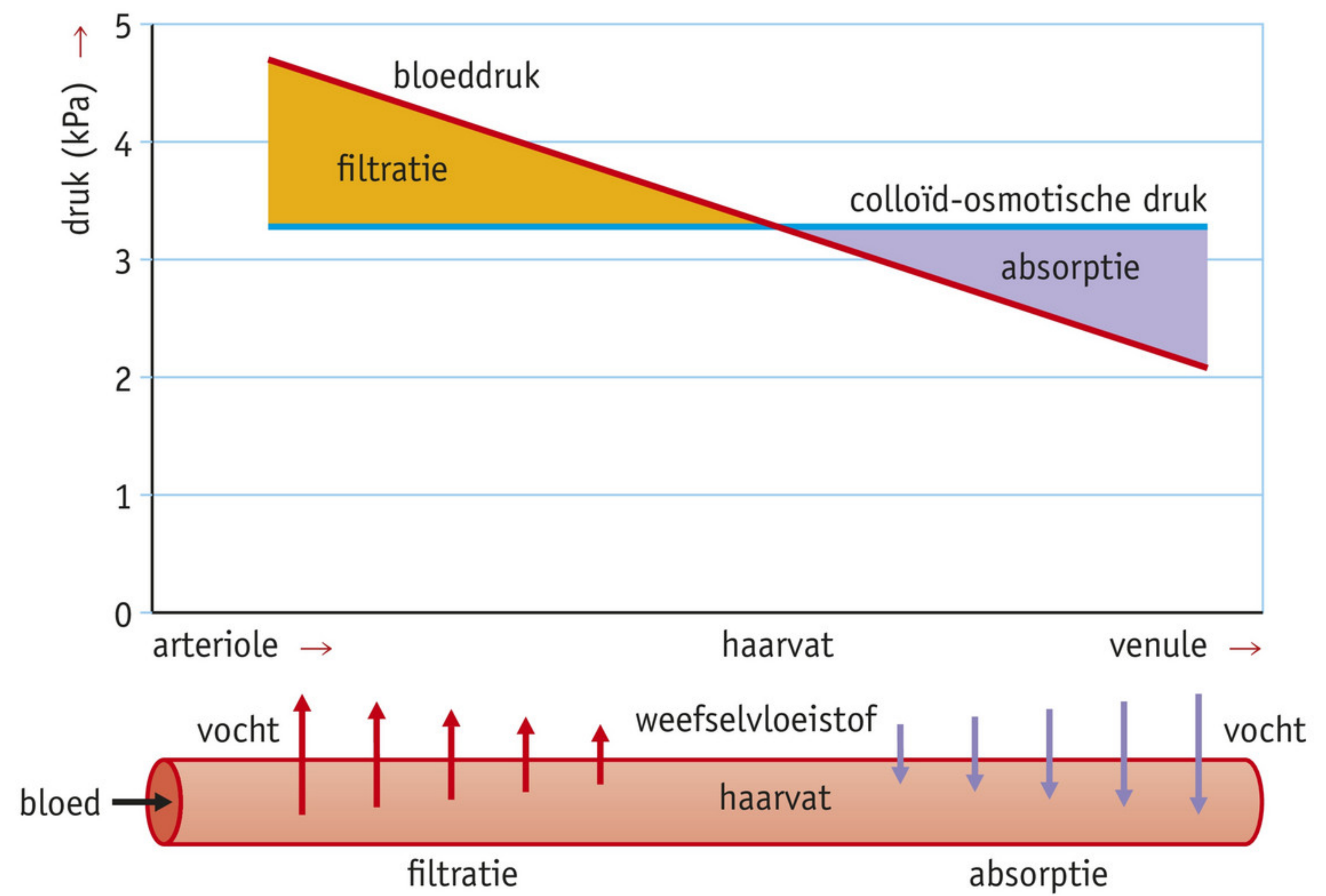
Weefselvloeistof bevindt zich tussen de cellen van de weefsels (zie afbeelding 49). Cellen nemen door diffusie voedingsstoffen en zuurstof op uit de langsstromende weefselvloeistof. Koolstofdioxide diffundeert in tegengestelde richting. Ook door actief transport nemen cellen voedingsstoffen op uit de weefselvloeistof.

▼ **Afb. 49** Stroming van vloeistof tussen de cellen van een weefsel.

**AFVOER VAN WEEFSELVLOEISTOF**

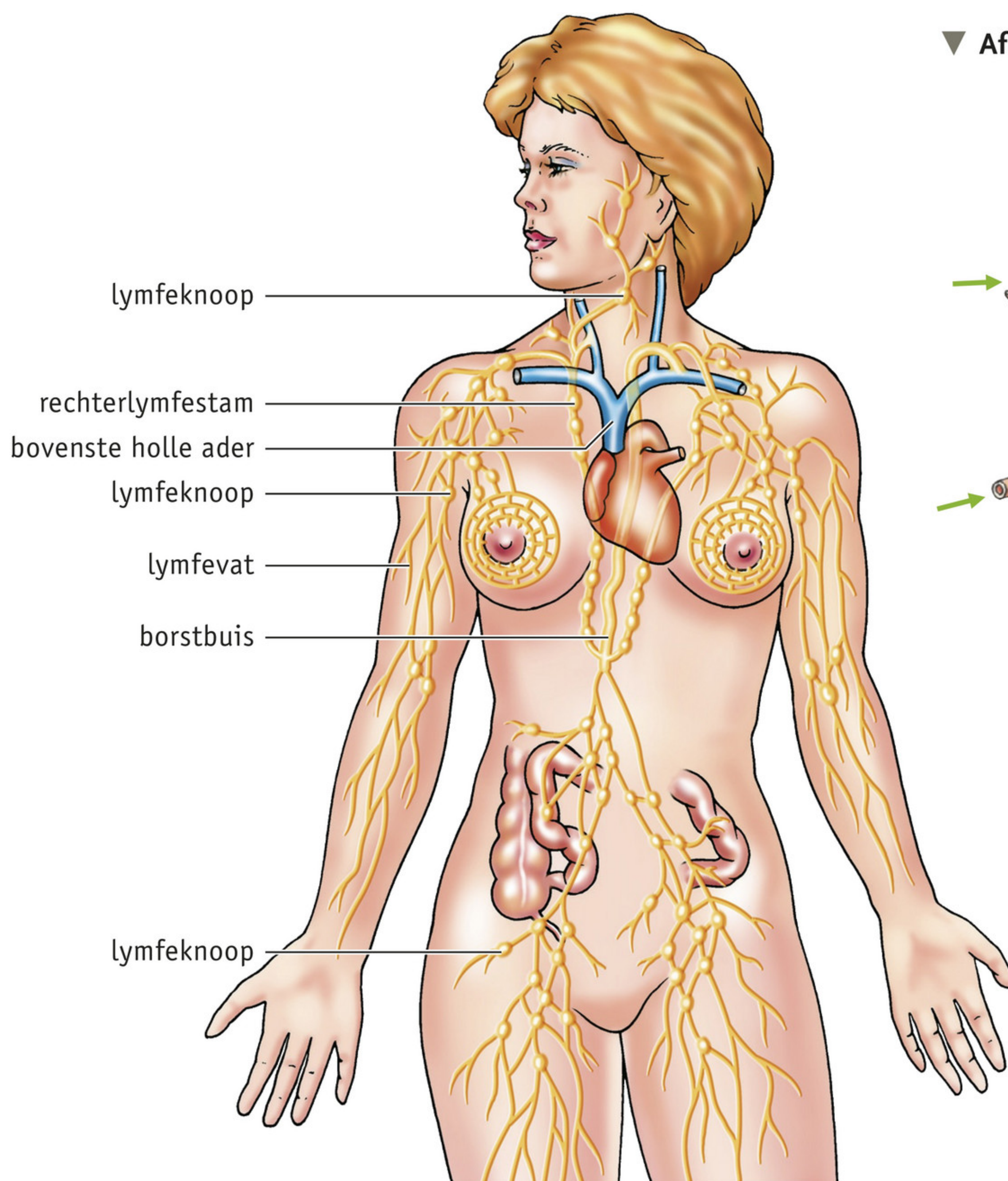
De wand van een haarvat is doorlaatbaar voor water en opgeloste stoffen met kleine moleculen. Grote eiwitmoleculen (vooral albuminen) kunnen de haarvaten niet verlaten en verhogen daardoor de osmotische waarde van het bloedplasma. De eiwitten in het bloed zijn colloïden: grote deeltjes (1 tot 1000 nm) die zweven in een vloeistof. Door het verschil in eiwitconcentratie tussen het bloedplasma en de weefselvloeistof ontstaat een **colloïd-osmotische druk** in de richting van de haarvaten.

► **Afb. 50** Verloop van de bloeddruk en colloïd-osmotische druk in de haarvaten.

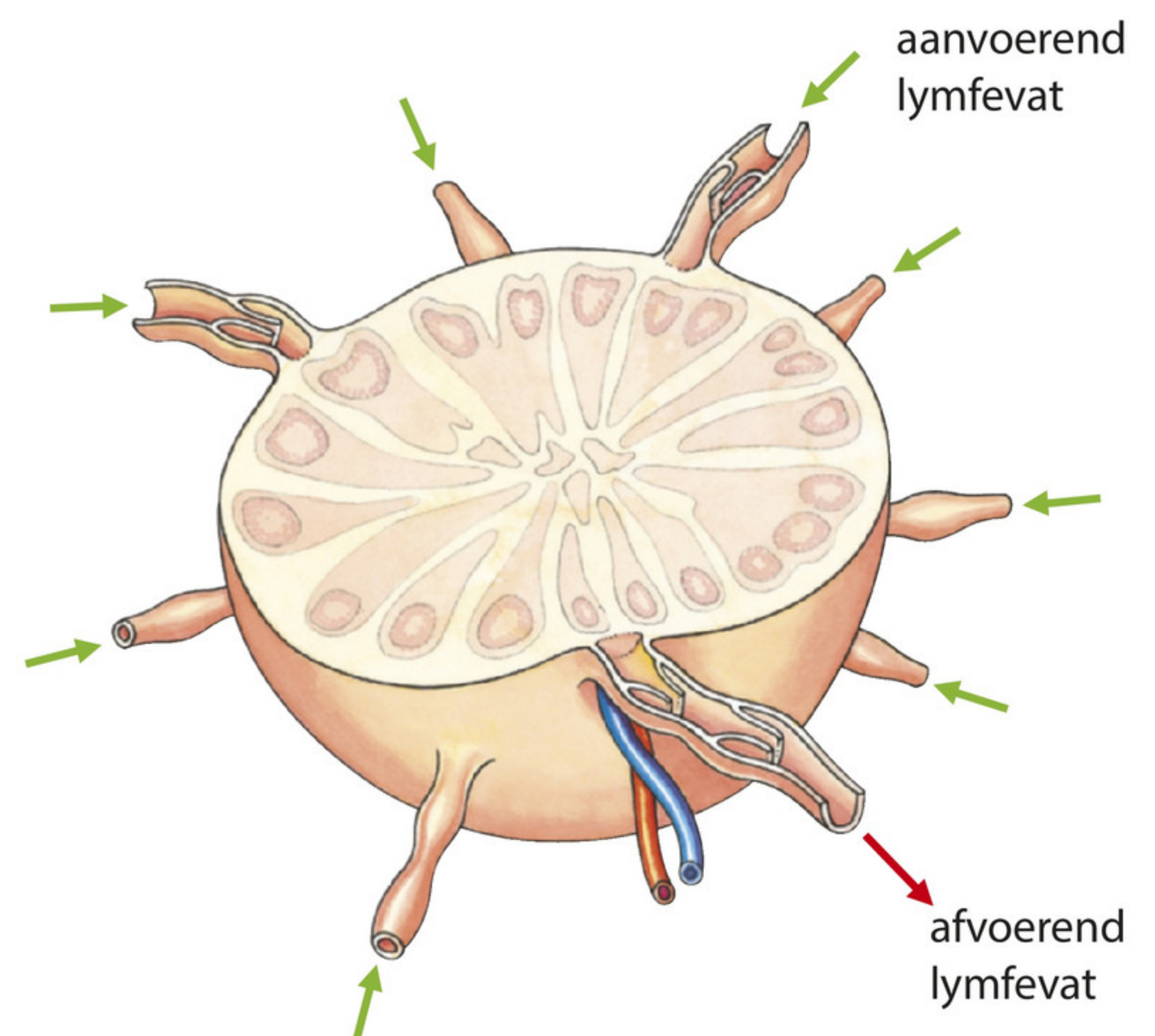


Aan het begin van de haarvaten is de filtratiedruk hoger dan de colloïd-osmotische druk (zie afbeelding 50). Aan het eind van de haarvaten is de bloeddruk lager dan de colloïd-osmotische druk, waardoor aan het eind van de haarvaten weefselvloeistof in de haarvaten wordt opgenomen. Dit noem je **absorptie**. Dit vocht bevat onder andere koolstofdioxide en andere afvalstoffen die door de cellen zijn geproduceerd.

▼ **Afb. 51** Het lymfesysteem.



▼ **Afb. 52** Lymfeknoop (schematische doorsnede).



▼ Afb. 53 Oedeem.



Niet al het uitgetreden vocht komt op deze manier terug in de haarvaten.

Overtollige weefselvloeistof wordt opgenomen in fijne **lymfevaten** en wordt dan **lymfe** genoemd. Lymfe bevat onder andere koolstofdioxide en andere afvalstoffen, hormonen, antistoffen en een deel van de zuurstof en voedingsstoffen die niet door de cellen zijn opgenomen. In lymfe kunnen ook witte bloedcellen voorkomen. Kleppen in de lymfevaten zorgen ervoor dat de lymfe maar in één richting stroomt. Samentrekkingen van spieren die vlak bij een lymfevat liggen, zorgen voor de stroming van lymfe.

De lymfevaten maken deel uit van het **lymfesysteem** (zie afbeelding 51). De fijne lymfevaten verenigen zich tot grotere lymfevaten. Vooral in de hals, de oksels en de liezen liggen **lymfeknopen (lymfeklieren)**, waarin verschillende aanvoerende lymfevaten samenkomen (zie afbeelding 52). Hier wordt de lymfe gezuiverd van onder andere ziekteverwekkers. Uiteindelijk komt alle lymfe terecht in twee grote lymfevaten: de **rechterlymfestam** en de **borstbuis**. Deze twee lymfevaten monden beide uit in aders onder de sleutelbeenderen.

Bij een **oedeem** hoopt weefselvloeistof zich op in de weefsels (zie afbeelding 53). Dit kan verschillende oorzaken hebben. Na een infectie bijvoorbeeld kan door het afsterven van cellen de concentratie eiwitten in de weefselvloeistof stijgen. De eiwitconcentratie in het bloed kan ook te laag zijn. Door infectie met parasieten kunnen de lymfevaten verstopt raken. Ten slotte kan ook een te hoge bloeddruk oedeem veroorzaken.

opdrachten

- 56 a Leg uit dat het uittreden van vocht uit de haarvaten ‘filtratie’ wordt genoemd.
 b Welke functie heeft de voortdurende stroming van weefselvloeistof?
 c Bij iemand met een tatoeage op de rechterarm ontstond na enige jaren een donkere vlek in zijn rechteroksel.
 Leg uit waardoor de vlek ontstond.
- 57 De benaming van lichaamsvocht wordt bepaald door de plaats waar het zich bevindt.
 a In een blaar bevindt zich helder, kleurloos vocht.
 Hoe heet het vocht dat zich in een blaar bevindt?
 b Kunnen in blaarvocht bloedcellen voorkomen? Zo ja, welke?
- 58 De uitwisseling van vocht tussen bloedplasma en weefselvloeistof vindt plaats dankzij verschillende krachten.
 a Leg uit welke kracht het uittreden van plasma aan het begin van de haarvaten veroorzaakt.
 b Leg uit welke kracht het terugstromen van weefselvloeistof verderop in de haarvaten veroorzaakt.
 c Bij een experiment laat men de bloeddruk in een bepaald haarvat plotseling toenemen.
 Hoe verandert daardoor de hoeveelheid vocht die uit dit haarvat treedt?
 d Hoe verandert hierdoor het verschil in osmotische waarde tussen de weefselvloeistof en het bloedplasma in dit haarvat? Leg je antwoord uit.
 e In de longhaarvaten vindt vrijwel geen uittreding van vocht plaats.
 Leg uit hoe dit komt en welk belang dit heeft.

- 59 Dierenartsen gebruiken voor bloedtransfusies steeds vaker kunstbloed. Kunstbloed bestaat grotendeels uit een fysiologische zoutoplossing met albumine en andere plasma-eiwitten van koeien. Daardoor heeft het kunstbloed de juiste colloïd-osmotische waarde. Als kunstbloed met onvoldoende albumine wordt gebruikt, kan oedeem ontstaan bij een hond die een transfusie heeft gekregen.
- a Beschrijf hoe dit oedeem ontstaat.
 - b Ondervoede kinderen hebben vaak opgezwollen buikjes. Dit hongeroedeem wordt veroorzaakt door een gebrek aan eiwitten in het voedsel. Leg uit hoe het opzwellen van de buikjes ontstaat.
 - c Bij mensen die lang stilzitten, kan vochtophoping plaatsvinden rond de enkels. Leg uit dat dit weefselvocht vaak verdwijnt door te wandelen. Maak een schematische tekening bij je uitleg.

CONTEXT

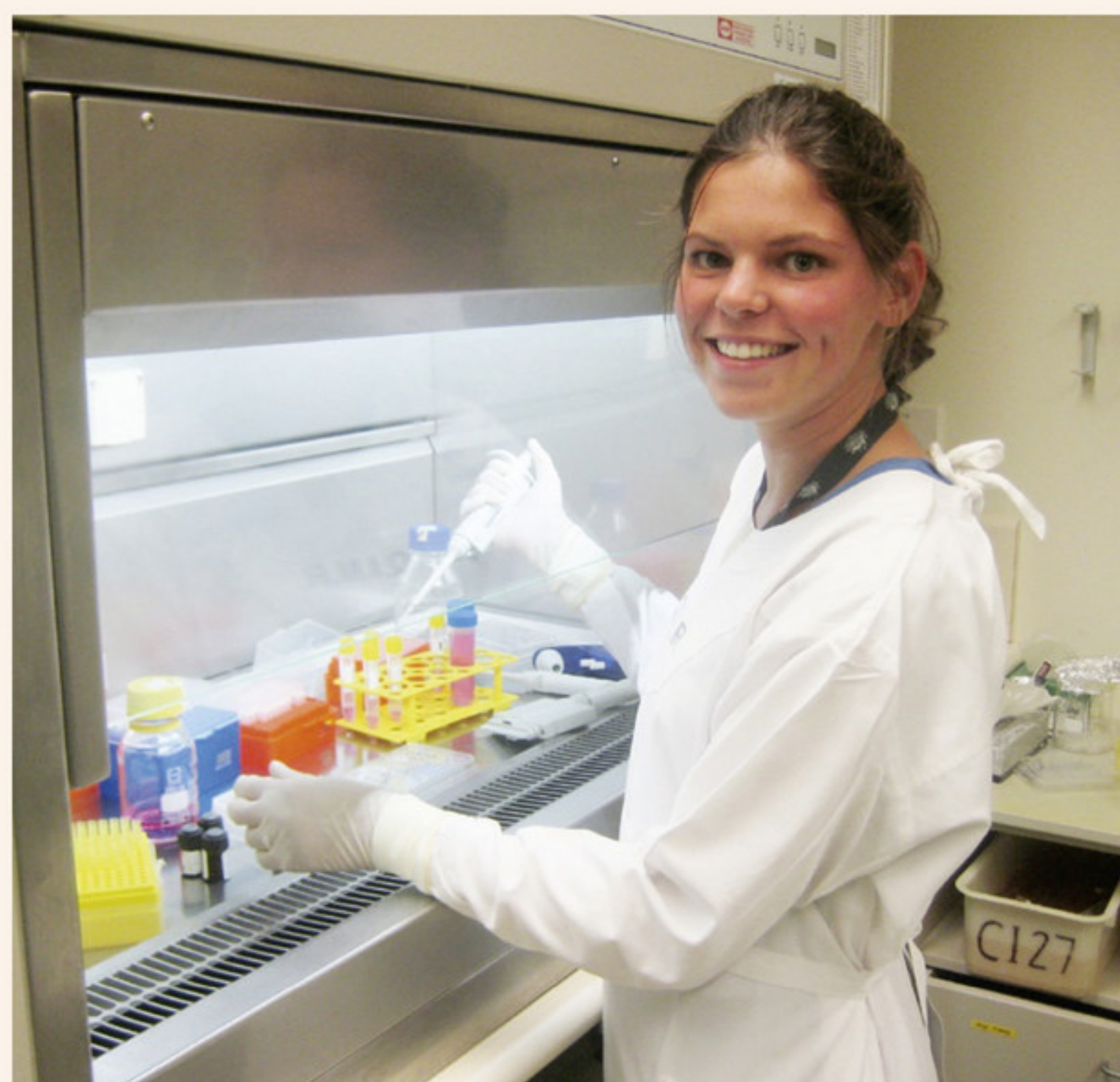
Beroep

Internist-hematoloog

Een hematoloog is een arts die zich bezighoudt met bloedziekten. Paulien van Hauten (zie afbeelding 54), arts in opleiding (aio) tot internist-hematoloog, legt uit: ‘Het gaat om aandoeningen van bloed, beenmerg en lymfeklieren, zoals stollingsstoornissen of lymfeklierkanker. Hematologie is een prachtig vak waarbij je leert hoe mooi alles werkt in het lichaam. Anderzijds ga je samen met de patiënt op zoek naar de juiste diagnose en behandeling. Na een zesjarige studie geneeskunde volg je de specialisatie tot internist-hematoloog. De eerste vier jaar daarvan is een basisopleiding tot internist. De laatste twee jaar richt je je volledig op de hematologie. Tijdens je opleiding werk je als arts en volg je onderwijs. Er is veel tijd om vragen te stellen aan arts-specialisten met meer ervaring. Zo leer je zowel van de praktijk als uit theorie.

Na het vwo ben ik eerst medische biologie gaan studeren. In het laatste jaar van deze studie ging ik een aantal maanden naar Australië om onderzoek te doen naar de behandeling van lymfeklierkanker. Onderzoek is mooi, omdat je er een grote groep mensen mee kunt helpen. Maar ik wilde ook graag de patiënt op individueel niveau helpen. Daarom ben ik geneeskunde gaan studeren en nu specialiseer ik me tot internist-hematoloog.’

► **Afb. 54** Paulien van Hauten tijdens haar studie medische biologie.



opdracht

- 6o** Als je interesse hebt in een medisch beroep kun je zowel medische biologie als geneeskunde gaan studeren.
- a** Noem twee verschillen in het werkterrein van een medisch bioloog en een arts-specialist.
 - b** Welke vaardigheid moet je beter beheersen als arts-specialist dan als medisch bioloog?
 - c** Welke van de twee studies spreekt jou het meest aan? Leg je antwoord uit.
 - d** Zoek voor de studie van jouw voorkeur uit aan welke Nederlandse universiteiten je deze studie kunt volgen.
 - e** Kies twee universiteiten en noteer de belangrijkste verschillen tussen de bacheloropleidingen. Denk aan: in welke taal wordt onderwijs gegeven, hoe groot is de groep eerstejaars, hoelang duurt de opleiding, hoe ziet het onderwijs eruit en welke specialisaties kun je doen.
 - f** Voor veel studies geneeskunde of biomedische wetenschappen geldt een numerus fixus.
Onderzoek bij twee opleidingen hoe de selectieprocedure er dan uit ziet.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingstof doen.

Leerdoelen

- Je kunt het verschijnsel blozen toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheid evolutionair denken toepassen op het verschijnsel blozen.

► Afb. 1 Blozen.

Blozen maakt aantrekkelijk

Blozen komt alleen bij mensen voor. Charles Darwin vroeg zich al af wat de functie ervan is. Hij stuurde brieven naar collega's en missionarissen over de hele wereld om erachter te komen of blozen in alle culturen voorkomt.

Darwin concludeerde dat alle mensen schaamte kennen en dat we onze omgeving via het blozen ongewild op deze gevoelens wijzen (zie afbeelding 1). Bioloog en hoogleraar psychologie Frans de Waal stelt het zo: 'We zijn door de evolutie voorzien van een anatomie die het moeilijk maakt anderen voor de gek te houden.'

De kringspiertjes rondom bloedvaatjes in je wangen en hals worden aangestuurd door het autonome zenuwstelsel. In ongemakkelijke situaties kunnen die kringspiertjes ontspannen, waardoor er plotseling meer bloed stroomt door de talrijke bloedvaatjes vlak onder de huid. Je wangen worden rood en je bloost. Adrenerge receptoren van de spiercellen reageren op de afgifte van neurotransmitters.



De mens is een op samenwerking gerichte soort met een moreel bewustzijn. Door te blozen laat je iets van jezelf zien, zoals schaamte of verlegenheid. Blozen is daarmee een signaal dat iemand zich bewust is van normen en waarden en van anderen. Dat maakt blozende mensen tot betrouwbare en aantrekkelijke soortgenoten. Voor blozen hoef je je dus niet te schamen.

Degenen die de pech hebben om van nature niet te blozen, kunnen altijd nog een 'blush of rouge' aanbrengen om er blozender uit te zien.

Bron: De blozende aap, *Psychologie magazine* juli 2012, Frans de Waal.

opdrachten

- 1 Vul de begrippen in bij het juiste organisatieniveau in de tabel. Kies uit: *adrenerge receptor – autonome zenuwstelsel – bloedvaatje – blozende mens – Charles Darwin – collega – kringspiertje – mensen – missionaris – neurotransmitter – slagader – soortgenoten – spiercel.*

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 2 a Van welk type zijn de talrijke bloedvaatjes vlak onder de huid?
b Behoren de kringspiertjes tot het gladde of dwarsgestreepte spierweefsel?
- 3 Adrenerge receptoren zijn gevoelig voor adrenaline-achtige stoffen.
a Hoe heten de stoffen die zorgen voor de overdracht van de impuls van de zenuwuiteinden naar de kringspiercellen?
b Welk effect heeft het vrijkomen van adrenaline op het lichaam?
c Wordt het ontspannen van de kringspiertjes veroorzaakt door het parasympatische of orthosympatische deel van het autonome zenuwstelsel?
d Welke andere functie kan het ontspannen van de kringspiertjes rondom haarvaatjes in de huid hebben voor je lichaam?
e Zal bij een schrikreactie (fright, fight, flight) en het vrijkomen van adrenaline meer of juist minder bloed naar de huid gaan? Leg je antwoord uit.
- 4 a Leg uit dat blozen een handeling is die valt onder sociaal gedrag.
b Verklaar waarom blozen niet of nauwelijks is te onderdrukken.
c Leg uit dat blozen de fitness van de blozer vergroot.
d Is blozen erfelijk of aangeleerd?
e Welk signaal wil iemand geven die een 'blush of rouge' aanbrengt op de jukbeenderen?

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een vers hart van een schaap of varken met daaraan delen van aansluitende bloedvaten
- prepareermateriaal, waaronder een snijbord, glasstaaf en scalpel
- tekenbenodigdheden

► **Afb. 1** Buitenaanzichten van het hart met sneden.

Practica

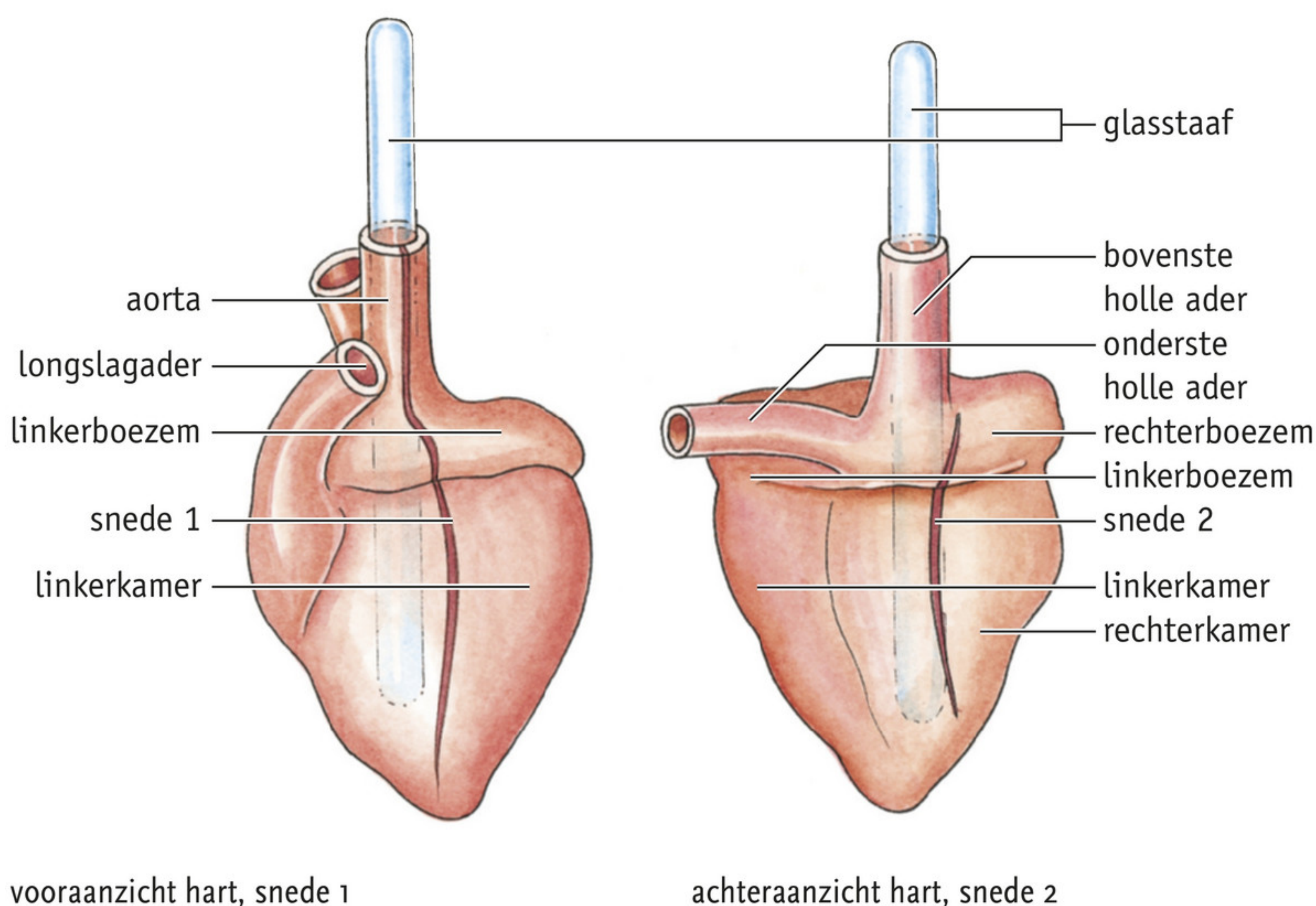
Bouw van een zoogdierhart

► BASISSTOF 2

De bouw van een zoogdierhart heeft veel overeenkomsten met de bouw van een mensenhart. In deze practicumopdracht onderzoek je de uitwendige en inwendige bouw van een zoogdierhart.

METHODE

- Verwijder zo nodig het vet rondom het hart.
- Maak een tekening van het buitenaanzicht van de voorzijde van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.
- Plaats de glasstaaf door de aorta tot in het onderste puntje van de linkerkamer. Snijd langs deze lijn voorzichtig de aorta, linkerboezem en linkerkamer open (zie afbeelding 1).
- Maak een tekening van de binnenzijde van het linkergedeelte van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.
- Keer het hart om, zodat je de achterkant van het hart kunt zien. Plaats de glasstaaf door de bovenste holle ader tot in het onderste deel van de rechterkamer. Snijd langs de staaf voorzichtig de bovenste holle ader, de rechterboezem en de rechterkamer open.
- Maak een tekening van de binnenzijde van het rechtergedeelte van het hart. Noteer de namen van de hartdelen en de bloedvaten.



vooraanzicht hart, snede 1

achteraanzicht hart, snede 2

practicumopdracht 2

MATERIAAL

- een klok of horloge met secondeaanduiding

- ▼ **Afb. 2** Plaatsing van de vingertoppen aan de pols.



practicumopdracht 3

MATERIAAL

- een klaargemaakt preparaat met dwarsdoorsneden van slagader en ader
- een microscoop

practicumopdracht 4

MATERIAAL

- een klaargemaakt preparaat van bloed (gekleurd)
- een microscoop

De hartslagfrequentie bepalen

►► BASISSTOF 2

De hartslag veroorzaakt een drukgolf die op verschillende plaatsen in het lichaam voelbaar is, bijvoorbeeld in de hals en bij de pols. Verpleegkundigen bepalen het hartritme bij patiënten meestal aan de hand van de polsslag. In deze practicumopdracht voer je dit bij jezelf of bij een medeleerling uit.

METHODE

- Leg je arm ontspannen op tafel.
- Plaats de vingertoppen van de wijs-, middel- en ringvinger met lichte druk op de polsslagader, 2 tot 3 cm onder het polsgewricht in het verlengde van de duim (zie afbeelding 2).
- Zorg ervoor dat je het kloppen van de slagader voelt.
- Tel gedurende 15 seconden het aantal polsslagen.
- Vermenigvuldig de uitkomst met 4. Noteer de uitslag (in slagen per minuut) en eventuele bijzonderheden.
- Herhaal de bepaling nadat je (of de proefpersoon) tien diepe kniebuigingen hebt (heeft) gedaan.

Bouw van slagaders en aders

►► BASISSTOF 3

Slagaders en aders hebben verschillende functies. In deze practicumopdracht onderzoek je de bouw van de wand van deze bloedvaten.

METHODE

- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 50×. Zoek in het preparaat naar een slagader en een ader.
- Maak een tekening van de wand van een slagader. Geef de laag glad spierweefsel aan.
- Maak ook een tekening van de wand van een ader.

Bloedcellen

►► BASISSTOF 4

Bloed bestaat uit plasma en cellen en celdelen. Cellen en celdelen zijn herkenbaar aan hun vorm en de dichtheid. In deze practicumopdracht onderzoek je bloedcellen.

METHODE

- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 100×. De rode bloedcellen liggen vaak in ‘geldrolletjes’. Bij de witte bloedcellen kunnen de kernen er verschillend uitzien.
- Bekijk het preparaat bij een vergroting van 400×. Soms kun je ook bloedplaatjes als stippen zien liggen.
- Maak tekeningen van enkele rode bloedcellen, van witte bloedcellen (zo mogelijk met verschillende typen kernen) en van bloedplaatjes (als je die ziet).

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt verschillende circulatiesystemen bij eukaryoten herkennen en de functies van een bloedsomloop benoemen.

- Bouw van transportsystemen:
 - Eencelligen en dieren die uit enkele cellagen bestaan, kennen alleen transport door diffusie.
 - Grotere dieren hebben een open of gesloten circulatiesysteem.
 - Bij bloedvatenstelsels worden lichaamsvloeistof en bloedplasma onderscheiden.
 - Bloedsomloop: enkelvoudig of dubbel, met een of meer harten.
- Circulatiesystemen zorgen voor een homogeen intern milieu door:
 - transport van stoffen tussen intern en extern milieu (o.a. zuurstof, brandstoffen, afvalstoffen);
 - transport van signaalstoffen (hormonen) tussen delen van het organisme;
 - transport van bestanddelen van het afweersysteem;
 - verdeling van warmte over het lichaam.
- De bouw en de werking van een bloedsomloop hangen samen met de wijze van de zuurstofvoorziening en de zuurstofbehoefte van een diersoort.
- Dubbele bloedsomloop: per omloop stroomt het bloed twee keer door het hart.
 - Kleine bloedsomloop: rechterkamer – longslagaders – longhaartvaten – longaders – linkerboezem.
 - Grote bloedsomloop: linkerkamer – aorta – slagaders – haartvaten in de organen – aders – onderste of bovenste holle ader – rechterboezem.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de embryonale bloedsomloop van de mens beschrijven en verschillen en overeenkomsten aangeven met de bloedsomloop na de geboorte.

- De embryonale bloedsomloop bezit aanpassingen waardoor er weinig bloed door de longen stroomt.
 - Via een opening tussen de rechter- en de linkerboezem (ovale venster) stroomt het bloed meteen van de rechter- naar de linkerboezem.
 - Via een verbinding tussen de longslagader en de aorta (ductus arteriosus) komt het grootste deel van het bloed dat door de rechterkamer wordt weggepompt, in de aorta terecht.
- Veranderingen in de bloedsomloop tijdens en na de geboorte:
 - het ovale venster wordt door een klep gesloten (deze klep vergroeit met de harttussenwand);

- de ductus arteriosus verschrompelt en verdwijnt;
- de resten van de navelstrengslagaders en navelstrengaders verschrompelen en verdwijnen.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de delen van een hart noemen met hun functies en kenmerken.

- Rechterboezem:
 - ontvangt zuurstofarm bloed uit de onderste en bovenste holle ader en voert dit door naar de rechterkamer;
 - weinig gespierde wand.
- Rechterkamer:
 - pompt zuurstofarm bloed in de longslagader(s);
 - gespierde wand.
- Linkerboezem:
 - ontvangt zuurstofrijk bloed uit de longaders en voert dit door naar de linkerkamer;
 - weinig gespierde wand.
- Linkerkamer:
 - pompt zuurstofrijk bloed in de aorta;
 - zeer gespierde wand.
- Harttussenwand: scheidt de linker- en rechterharthelft.
- Hartkleppen: verhinderen het terugstromen van bloed van kamers naar boezems.
- Halvemaanvormige kleppen: verhinderen het terugstromen van bloed van longslagader(s) en aorta naar de kamers.
- Kransslagaders: hierdoor stroomt zuurstofrijk bloed naar de hartspeer.
- Kransaders: hierdoor stroomt zuurstofarm bloed weg uit de hartspeer.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de werking van het hart beschrijven en de relatie tussen bouw en werking uitleggen.

- Systole (samentrekking) van de boezems.
 - De sinusknop in de wand van de rechterboezem geeft impulsen af.
 - Spieren in de wand van de boezems trekken zich samen. In de kamers vindt diastole plaats.
 - De hartkleppen zijn open, de halvemaanvormige kleppen zijn dicht.
 - Bloed stroomt van de boezems naar de kamers.
- Systole (samentrekking) van de kamers.
 - Spieren in de wand van de kamers trekken zich samen. In de boezems vindt diastole plaats.
 - Bloed stroomt van de kamers naar de longslagader(s) en de aorta.
 - De hartkleppen slaan dicht, de halvemaanvormige kleppen gaan open.
 - Spieren verhinderen dat de hartkleppen doorslaan door zich samen te trekken.

- Hartpauze.
 - Zowel in de boezems als de kamers vindt diastole plaats.
 - De hartkleppen zijn geopend, de halvemaanvormige kleppen zijn gesloten.
 - Bloed stroomt uit de holle aders en de longaders naar de boezems en kamers.
- Hartslagfrequentie (hartritme): de frequentie waarmee de sinusknop impulsen afgeeft.
 - De impulsgeleiding in het hart kan worden weergegeven met een elektrocardiogram (ecg).
 - De hartslagfrequentie wordt beïnvloed door de bloeddruk en door hormonen (o.a. adrenaline).
 - De hartslagfrequentie is o.a. afhankelijk van de lichaamsgrootte en de activiteit van het organisme.
 - Het hartritme kan worden ondersteund door middel van een pacemaker.
- Slagvolume: de hoeveelheid bloed die per hartslag door de linkerkamer in de aorta wordt gepompt.
 - Het slagvolume hangt af van de hoeveelheid bloed die uit de holle aders de rechterboezem instroomt.
 - De linkerkamer pompt per hartslag ongeveer evenveel bloed weg als de rechterkamer.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 3

Je kent de functies en kenmerken van aders, slagaders en haarvaten en kunt de relatie tussen bouw en werking uitleggen.

- Arteriën (slagaders):
 - hierdoor stroomt bloed weg van het hart;
 - ‘slag’ merkbaar, o.a. in de polsen;
 - hoge bloeddruk;
 - dikke, stevige en elastische wand;
 - meestal diep in het lichaam gelegen;
 - alleen halvemaanvormige kleppen (aan het begin van longslagader en aorta).
- Arteriolen: fijne vertakkingen van slagaders in de organen.
 - Door vasoconstrictie (vernauwing) of vasodilatatie (verwijding) kan de hoeveelheid bloed worden geregeld die door een bepaald weefsel stroomt.
- Capillairen (haarvaten):
 - wand van één cellaag dik;
 - vocht met opgeloste stoffen en witte bloedcellen kunnen door de wand heen de haarvaten verlaten.
- Venulen: kleine aders in organen die ontstaan doordat de haarvaten weer bij elkaar komen.
- Venen (aders):
 - hierdoor stroomt bloed naar het hart toe;
 - lage bloeddruk;
 - geen ‘slag’ merkbaar;
 - dunne wand;
 - meestal ondiep in het lichaam gelegen;

- kleppen verhinderen dat het bloed terugstroomt (vooral in de armen en benen).

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 3

Je kunt zuurstofgehalte, glucosegehalte, stroomrichting en verloop van bloeddruk en stroomsnelheid in de delen van het bloedvatenstelsel toelichten.

- Zuurstofgehalte van het bloed.
 - Door de slagaders van de kleine bloedsomloop stroomt zuurstofarm bloed.
 - Door de aders van de kleine bloedsomloop stroomt zuurstofrijk bloed.
 - Door de slagaders van de grote bloedsomloop stroomt zuurstofrijk bloed.
 - Door de aders van de grote bloedsomloop (waaronder de poortader) stroomt zuurstofarm bloed.
- Glucosegehalte van het bloed.
 - In de poortader treden de grootste schommelingen op.
 - Van de overige bloedvaten is het glucosegehalte van het bloed in de leverader het hoogst.
 - Waar het bloed uit de leverader wordt gemengd met bloed afkomstig van andere organen, daalt het glucosegehalte van het bloed.
- Van slagaders naar aders neemt de bloeddruk voortdurend af.
 - De bloeddruk is het hoogst in de linkerkamer en in de aorta tijdens het samentrekken van de kamers.
 - In de slagaders gaat de bloeddruk sterk op en neer als gevolg van de hartslag.
 - In de aders is de bloeddruk vaak te laag om de bloedstroom op gang te houden.
- In de aders helpen andere krachten mee om de bloedstroom op gang te houden:
 - de stootsgewijze druk van slagaders die naast de aders liggen;
 - de samentrekking van skeletspieren.
- Bloeddrukmeting: de bovendruk en de onderdruk worden gemeten.
 - De bovendruk ontstaat door de samentrekking van de kamers.
 - De onderdruk is de druk tijdens de hartpauze.
- De stroomsnelheid van het bloed is het grootst in de aorta en het laagst in de haarvaten.
- Hartinfarct:
 - Een of meer vertakkingen van een kransslagader raken verstopt (door atherosclerose).
 - Daardoor krijgt een deel van de hartspier geen zuurstof en voedingsstoffen meer en sterft af.
- De bloeddruk wordt min of meer constant gehouden door aanpassing van het hartritme (negatieve terugkoppeling).
 - Als de bloeddruk onder de normwaarde daalt, zorgt de hersenstam ervoor dat het hartritme stijgt. Hierdoor stijgt de bloeddruk.

- Als de bloeddruk boven de normwaarde stijgt, zorgt de hersenstam ervoor dat het hartritme daalt. Hierdoor daalt de bloeddruk.
- De bloeddruk kan verhoogd zijn doordat aan de binnenwand van arteriën cholesterol is afgezet (atherosclerose).

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 4

Je kunt de bestanddelen van bloed noemen met hun kenmerken en functies.

- Bloedplasma: water met opgeloste stoffen en plasma-eiwitten (albuminen, globulinen, fibrinogeen).
 - Het bloedplasma vervoert zuurstof, voedingsstoffen (o.a. glucose), afvalstoffen (o.a. koolstofdioxide), signaalstoffen (o.a. hormonen) en beschermende stoffen (o.a. antistoffen).
 - Het bloedplasma houdt het interne milieu constant.
 - Plasma-eiwitten spelen een rol bij het transport van stoffen, de handhaving van de colloïd-osmotische druk en de bloeddruk.
 - Fibrinogeen speelt een rol bij de bloedstolling.
 - Bloedserum is bloedplasma zonder fibrinogeen.
- Rode bloedcellen (erythrocyten):
 - Cellen zonder kern (daardoor betrekkelijk korte levensduur).
 - Worden gevormd in het rode beenmerg uit stamcellen, onder invloed van het hormoon epo (erytropoëetine) uit de nieren.
 - Worden afgebroken in het rode beenmerg, in de milt en in de lever.
 - Bevatten hemoglobine dat zuurstof kan binden.
 - Functie: transport van zuurstof.
- Bloedplaatjes (trombocyten):
 - Delen (zonder kern) van uiteengevallen cellen.
 - Worden gevormd in het rode beenmerg.
 - Functie: bloedstolling.
- Witte bloedcellen (leukocyten):
 - Cellen met kern.
 - Worden vooral gevormd in het rode beenmerg uit stamcellen.
 - Functie: ziekteverwekkers vernietigen en dode celresten opruimen.

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 4

Je kunt het proces van bloedstolling beschrijven en verklaren en je weet hoe complicaties bij bloedstolling kunnen worden voorkomen.

- Bloedplaatjes kleven aan de beschadigde bloedvatwand en vormen een bloedpropje.
 - Uit het beschadigde weefsel en uit de bloedplaatjes komen stoffen vrij (o.a. trombokinase).

- Deze stoffen brengen met behulp van stollingsfactoren in het bloedplasma (o.a. calciumionen) een keten van reacties op gang.
- Trombokinase bevordert de omzetting van protrombine in trombine.
- Onder invloed van trombine wordt fibrinogeen uit het bloedplasma omgezet in fibrine.
- Fibrine vormt een netwerk van draden dat de wond afsluit (bloedstolsel).
- Problemen met de bloedstolling:
 - Bij hemofilie (bloederziekte) ontbreekt een bepaalde stollingsfactor in het bloed.
 - Bij trombose treedt in de bloedvaten ongewenste stolling op.

LEERDOEL 9 ►► BASISSTOF 5

Je kunt de kenmerken en functies van weefselvloeistof en lymfe toelichten.

- Weefselvloeistof ontstaat doordat aan het begin van de haarvaten vocht uittreedt.
 - Plasma-eiwitten met relatief grote moleculen kunnen de haarvaten niet verlaten. Hierdoor ontstaat een colloïd-osmotische druk van de weefselvloeistof naar het bloedplasma.
 - Aan het begin van de haarvaten is de bloeddruk hoger dan de colloïd-osmotische druk, waardoor vocht uit de haarvaten naar de weefsels wordt geperst (filtratie).
 - Weefselvloeistof bevat o.a. zuurstof, voedingsstoffen, koolstofdioxide en andere afvalstoffen, hormonen en plasma-eiwitten met kleine moleculen. Weefselvloeistof kan witte bloedcellen bevatten.
 - Functie: zuurstof en voedingsstoffen naar de cellen toevoeren en koolstofdioxide en andere afvalstoffen van de cellen wegvoeren.
- Een deel van de weefselvloeistof keert aan het eind van de haarvaten terug in het bloed.
 - Aan het eind van de haarvaten is de bloeddruk gedaald. Doordat de colloïd-osmotische druk dan hoger is dan de bloeddruk wordt er weer weefselvocht in de haarvaten opgenomen (absorptie).
- Een deel van de weefselvloeistof wordt opgenomen in fijne lymfevaten.
 - Lymfevaten verenigen zich tot grotere lymfevaten.
 - In de lymfevaten komen kleppen voor.
 - Het lymfesysteem voert de lymfe weer terug naar het bloedvatenstelsel.
 - Lymfeknopen (lymfeklieren) zuiveren de lymfe van o.a. ziekteverwekkers.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken en selecteren van informatie;
- mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- herkennen/gebruiken van biologische en ethische argumenten;
- vorm-functiedenken op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen en organismen;
- verklaren van transport van stoffen op het niveau van weefsels, organen en organismen met behulp van evolutiemechanismen (evolutionair denken);
- met elkaar in verband brengen van transportsystemen op de niveaus van cellen, weefsels, organen en organismen (systeemdenken).

Examentrainer

KOGEL IN HET HART

Bron: bezemexamen vwo 2016-1, vraag 7 en 8.

In een dagblad stond het volgende artikel.

Man loopt zestien uur rond met kogel in hart

Een 21-jarige man die door een kogel in zijn hart werd geraakt, heeft de moordaanslag wonder boven wonder overleefd. De man was in de nacht van dinsdag op woensdag van dichtbij in een parkje beschoten. Hij kon op eigen gelegenheid naar het stadscentrum lopen. Woensdagavond, zo’n zestien uur later, kreeg hij het ineens erg benauwd en nam hij een taxi naar het ziekenhuis. Daar moest hij met spoed worden geopereerd. Toen bleek dat de kogel dwars door zijn hart heen was gegaan.

Volgens de cardiochirurg van het Amphia Ziekenhuis in Breda is het medisch verklaarbaar dat de man kon doorlopen met zo’n ernstige verwonding. ‘Als de kogel dwars door een hartkamer is gegaan, zal er nauwelijks bloedverlies plaatsvinden.’

2p 1 Leg uit waardoor er in dat geval zowel tijdens de systole als tijdens de diastole nauwelijks bloedverlies zal plaatsvinden.

Blijkbaar heeft de kogel geen delen van het hart geraakt, waarvan beschadiging direct levensbedreigend is.

2p 2 Noem twee verschillende onderdelen van het hart die bij beschadiging door een kogel wel direct levensgevaar zouden hebben opgeleverd voor het slachtoffer.

FOUT IN NIERGEN DOET HART FALEN

Naar: pilotexamen vwo 2015-2, vraag 8, 9 en 11.

In Nederland lijden ongeveer 180 000 mensen, meestal zestigplussers, aan hartfalen: de pompwerking van hun hart schiet chronisch tekort. Amerikaanse onderzoekers hebben ontdekt dat mensen met een bepaalde mutatie een verhoogde kans op hartfalen hebben. Door vroegtijdig te screenen op die mutatie kunnen deze mensen worden opgespoord. Een preventieve behandeling is dan mogelijk. Mensen met een gemuteerd CLCNKA-gen hebben een verhoogde kans op hartfalen.

Een oorzaak van hartfalen is een verhoogde bloeddruk. Met behulp van een bloeddrukmeter kan een arts de systolische en de diastolische bloeddruk van een patiënt meten.

2p 3 Van welk bloedvat wordt de systolische druk en van welk bloedvat wordt de diastolische druk op deze wijze gemeten?

	systolische drukmeting	diastolische drukmeting
A	aorta	aorta
B	aorta	holle ader
C	holle ader	aorta
D	armslagader	armslagader
E	armslagader	armader
F	armader	armslagader

Mensen die homozygoot zijn voor het allel Gly83, maar ook mensen die hiervoor heterozygoot zijn, hebben een grotere kans op hartfalen. De groep Nederlanders die dit risico loopt, is groot, want de allelfrequentie van het Gly83-allel is 0,5 in de Noord-Europese bevolkingsgroep. Dit gegeven zou kunnen worden gebruikt om de grotere kans op hartfalen als gevolg van de Gly83-mutatie van deze fractie Nederlanders te berekenen.

Twee kenmerken van Nederlanders uit de Noord-Europese bevolkingsgroep zijn:

- 1 Zij leven niet in een geïsoleerde voortplantings-populatie.
- 2 De mensen met het Gly83-allel hebben een verhoogde sterftেকans.

2p 4 Door welk kenmerk of welke kenmerken mag de wet van Hardy-Weinberg strikt genomen **niet** worden gebruikt voor het berekenen van de grotere kans op hartfalen als gevolg van de Gly83-mutatie van deze fractie Nederlanders?

- A alleen door kenmerk 1
- B alleen door kenmerk 2
- C door beide kenmerken

Patiënten met hartfalen krijgen vaak plaspillen voorgeschreven, waardoor ze meer urine produceren.

2p 5 Leg uit hoe een verhoogde urineproductie de ernst van hartfalen kan verminderen.

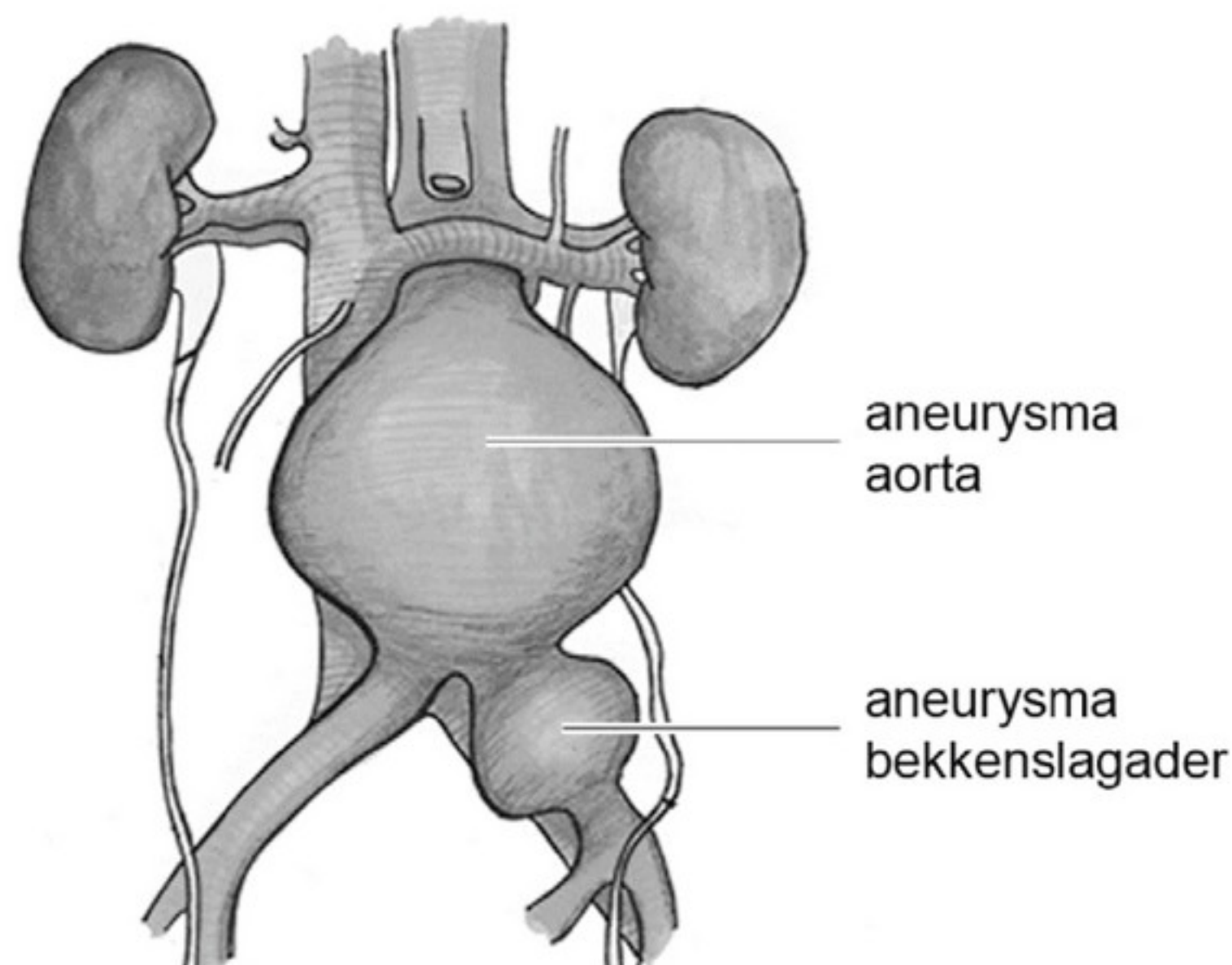
ONDERZOEK NAAR ANEURYSMA’S

Bron: examen vwo 2016-1, vraag 15 en 22.

Genetici van vijf Nederlandse universiteiten hebben samen een erfelijke oorzaak gevonden voor het ontstaan van verwijdingen in de aorta. Door mensen uit risicofamilies voortaan te testen, kan mogelijk worden voorkomen dat zij plotseling sterven ten gevolge van het scheuren van deze verwijdingen.

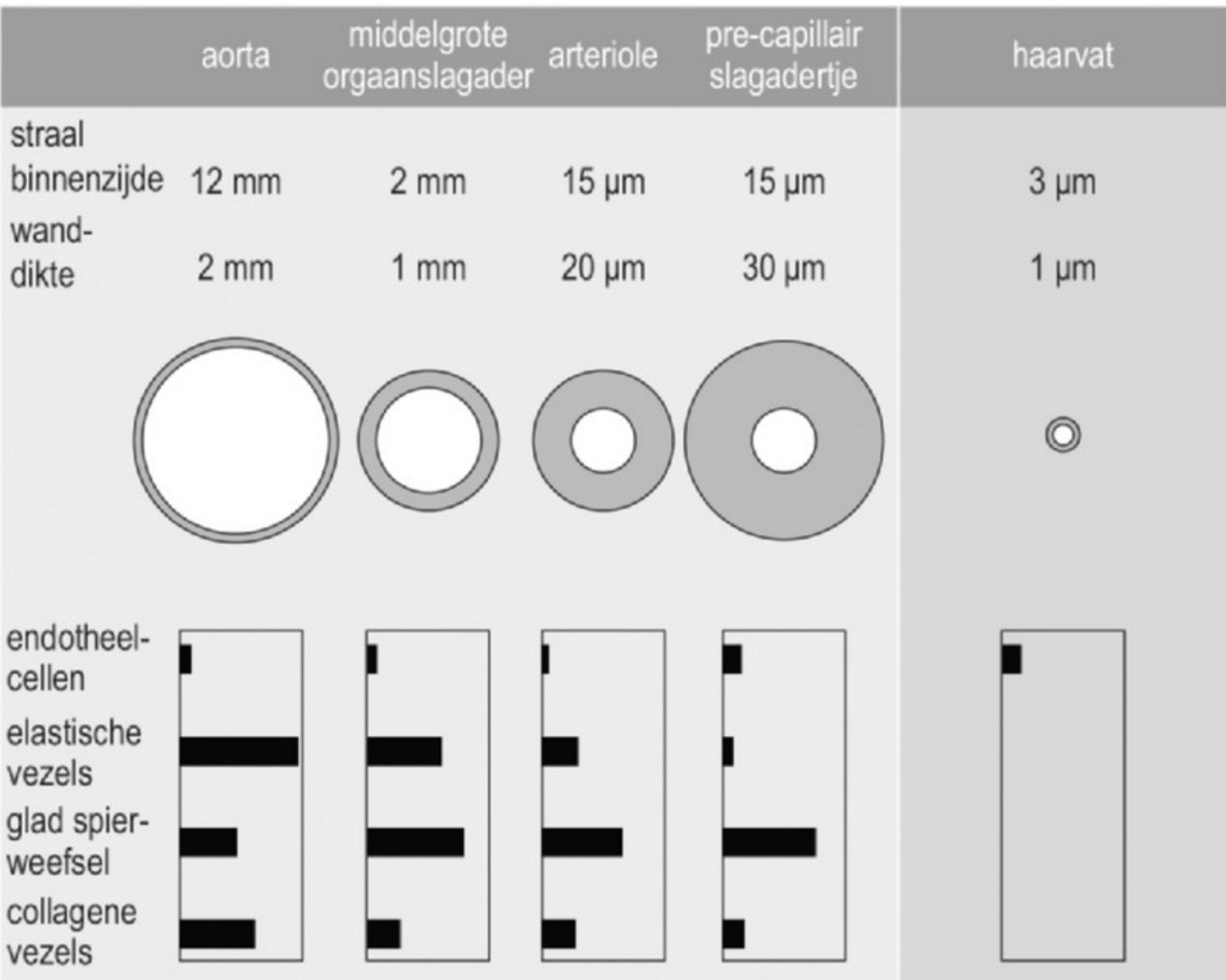
Wanneer een slagader meer dan anderhalf keer de normale diameter heeft, spreken we van een aneurysma. Een aneurysma van de aorta wordt meestal gevonden in het eindgedeelte van de aorta, maar ook op andere plaatsen kan een aneurysma ontstaan (zie afbeelding 1). Aneurysma's ontstaan door chronische ontstekingen in de wand van de slagaders, waardoor de vaatwand steeds dunner en zwakker wordt. Een gezonde slagaderwand bestaat onder andere uit endotheelcellen, elastische vezels, glad spierweefsel en collageen vezels.

Afb. 1



In afbeelding 2 is in staafdiagrammen de relatieve hoeveelheid van de genoemde componenten in de wand van verschillende typen bloedvaten weergegeven.

Afb. 2



De wand van de aorta is anders samengesteld dan die van precapillaire slagadertjes. Dat verschil in bouw heeft te maken met de functie.

Bij de families die aan het onderzoek meewerkten, heeft een nieuwe test op mutaties in het Smad3-gen zijn vruchten afgeworpen. Een jongen van 20 jaar werd dankzij de test op tijd behandeld. De vaatchirurg koos bij de behandeling van het aorta-aneurysma voor het plaatsen van een stent (zie afbeelding 3) op de plek van het aneurysma.

Afb. 3



Een stent is een metalen of kunststof buisje met een vocht-dichte voering, dat in opgevouwen toestand in een bloedvat wordt gebracht om daarna tot de juiste grootte te worden opgerekt. De stent wordt met behulp van een geleide katheter via een bloedvat in de lies in het aorta-aneurysma gebracht.

- 2p 7 Via welk bloedvat in de lies kan de chirurg de geleide katheter inbrengen om bij dit aneurysma te komen?
- A alleen via de linker bekkenader
 - B alleen via de rechter bekkenader
 - C alleen via de linker bekkenslagader
 - D alleen via de rechter bekkenslagader
 - E via de linker of rechter bekkenader
 - F via de linker of rechter bekkenslagader

EEN BLOEDTRANSFUSIE VOOR JE HOND

Bron: examen vwo 2017-1, vraag 29 en 30.

Sophia belde in paniek haar dierenarts. Haar hond Max, een levendige boxer, was plotseling in elkaar gezakt en kwam niet meer overeind. Dierenarts Yin onderzocht het bloed van de hond en daaruit bleek dat Max acute hemolytische anemie had, een vorm van bloedarmoede. De oorzaak was een zakje gedroogde uien dat Max een paar dagen daarvoor had leeggegeten. Uien bevatten stoffen die bij honden de rode bloedcellen beschadigen. Om anemie te verhelpen wordt vaak het hormoon epo toegediend.

- 2p 8 – Hoe verhelpt epo anemie?
- In welk weefsel bevinden zich de doelwitcellen van dit hormoon?

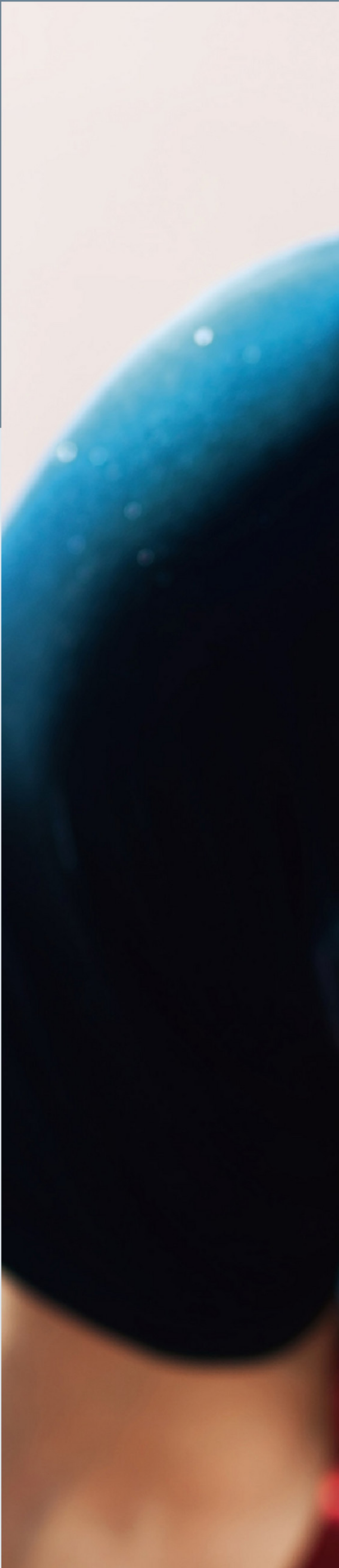
Max krijgt echter geen (honden-)epo toegediend; dierenarts Yin kiest voor een bloedtransfusie.

- 1p 9 Geef een medisch argument voor deze keuze.

3 Gaswisseling en uitscheiding

Gaswisseling is de verplaatsing van de gassen zuurstof en koolstofdioxide tussen het inwendige en het uitwendige milieu. Uitscheiding is de afgifte van overtollige en schadelijke stoffen aan het milieu. Gaswisseling en uitscheiding zijn belangrijk voor het constant houden van het interne milieu: homeostase.

ONTDEKKEN	
Eerste hulp bij festivals	114
BASISSTOF	
1 Gaswisseling	116
2 Longventilatie	128
3 De lever	137
4 De nieren	144
5 De huid	153
SAMENHANG	
De koningsziekte	158
PRACTICA	160
SAMENVATTING	164
EXAMENTRAINER	168







Eerste hulp bij festivals

►► BASISSTOF 4 EN 5

Bevrijdingspop, Zwolle. Terwijl duizenden mensen genieten van de muziek, zakt ergens in de mensenmassa een jongen in elkaar. Omstanders schieten te hulp. Gelukkig komt de jongen snel weer bij, maar hij is verward, gedesoriënteerd en misselijk. Bij de EHBO-post controleert een hulpverlener van het Rode Kruis het zoutgehalte van het bloed. De jongen blijkt een watervergiftiging te hebben.

Water is niet giftig. Toch bestaat er zoiets als een watervergiftiging. Daaraan kun je zelfs overlijden. Risicogroepen zijn marathonlopers en mensen die xtc hebben gebruikt. Zeker bij hitte wordt hen vaak aangeraden om zo veel mogelijk te drinken, maar dat kan dus ook helemaal verkeerd uitpakken. Ook is het weleens misgegaan bij 'waterdrinkwedstrijden', bijvoorbeeld tijdens de ontgroening bij een studentenvereniging. De symptomen van een watervergiftiging zijn verwarring, misselijkheid en desoriëntatie. Watervergiftiging komt niet vaak voor. Op festivals zijn oververhitting en uitdroging vaak een groter

probleem, zeker op warme zomerdagen. De combinatie van hitte, alcohol en dansen zorgt ervoor dat je snel vocht verliest. Als je dan niet genoeg drinkt, raak je uitgedroogd. De symptomen zijn verwarring, misselijkheid en desoriëntatie – inderdaad, dezelfde verschijnselen als bij watervergiftiging. Maar iemand met uitdroging heeft heel andere zorg nodig dan iemand met watervergiftiging. Zeker bij warm weer denken omstanders vaak meteen aan uitdroging of oververhitting als iemand onderuitgaat. Ze gaan dan op zoek naar water om de patiënt te laten drinken. Maar bij een watervergiftiging kan nog meer water drinken fataal zijn!

Het is dus belangrijk dat je eerst weet wat er aan de hand is. Op alle grote festivals en evenementen zijn EHBO-posten aanwezig. Daar kan een vrijwilliger van het Rode Kruis eenvoudig het bloed controleren en de juiste hulp verlenen. EHBO'ers van het Rode Kruis kunnen zich specialiseren in hulpverlening op grote evenementen en in problemen rond alcohol en drugs. Zo'n gespecialiseerde EHBO'er kan bijvoorbeeld een wateradvies op maat geven om oververhitting, uitdroging of watervergiftiging te voorkomen. Op sommige festivals zijn voorlichtingsteams van jongeren aanwezig, bijvoorbeeld van het Rode Kruisproject 'Eerste Hulp Bij Festivals'. Zij laten bezoekers op een leuke manier zien wat de gevaren zijn op een festivalterrein en hoe te handelen in geval van nood.

▼ Afb. 1

AMSTERDAM – Een toerist is zaterdag 28 mei overleden als gevolg van watervergiftiging. De vrouw werd onwel in een hotel aan de Vossiusstraat in Zuid. Zij werd met een ambulance overgebracht naar het ziekenhuis, waar ze is overleden. Vrijdag bracht de politie naar buiten dat ze bezweek aan een watervergiftiging. Dit komt vaker voor bij gebruikers van harddrugs zoals xtc, maar deze toerist had volgens de Amsterdamse politie softdrugs gebruikt.

Naar: 'Toeriste overleden aan watervergiftiging', *Het Parool*, 3 juni 2016.

opdrachten

Als hulpverlener van het Rode Kruis bemens je in de zomer EHBO-posten op festivals en evenementen. Vooral tijdens een hittegolf kan het daar druk worden. De laatste jaren heb je enkele keren te maken gehad met watervergiftiging en uitdroging bij festivalbezoekers. Vaak was daarbij xtc of alcohol in het spel. Voor komend seizoen besluiten jullie goed voorbereid op pad te gaan.

Eerst ga je ervoor zorgen dat jij en je collega's alles weten over de waterhuishouding en de invloed van alcohol en drugs. Daarvoor hebben jullie nog mooi even de tijd voor het festivalseizoen losbarst.

- 1 Samen met drie collega's zoek je uit hoe de waterhuishouding van het lichaam precies werkt.
 - a Verdiep je in vier onderwerpen: uitdroging, watervergiftiging, alcohol en xtc (werkzame stof: mdma). Verdeel de onderwerpen. Wissel na afloop de kennis uit.
 - Wat gebeurt er in het lichaam bij uitdroging?
 - Wat gebeurt er in het lichaam bij watervergiftiging?

- Hoe beïnvloedt alcohol de waterhuishouding?
- Hoe beïnvloedt xtc de waterhuishouding?

Gebruik je leeropdrachtenboek en zoek op internet. Maak voor jezelf een korte samenvatting van de informatie die je vindt. Dat kan in tekst, maar ook in bijvoorbeeld een schema, tekening of mindmap. Afbeeldingen en filmpjes kun je bewaren om te delen.

Gebruik in je samenvatting de volgende begrippen: *ADH (antidiuretisch hormoon) – aldesteron – osmoreceptoren – osmotische waarde – terugresorptie – ultrafiltratie – voorurine*.

- b Praat elkaar bij over de informatie die jullie hebben gevonden. Maak een overzicht waarin je de begrippen ADH, osmotische waarde, terugresorptie, ultrafiltratie en voorurine belicht bij zowel uitdroging als watervergiftiging. Geef ook aan wat de invloed is van alcohol en van xtc. Als jullie mindmaps hebben gemaakt, kun je die samenvoegen.
- 2 Bedenk en maak met zijn vieren aansprekend voorlichtingsmateriaal over 'water' (de waterhuishouding) voor jonge festivalbezoekers (16 tot 25 jaar). Ga uit van een festivalomgeving met veel hitte en drukte. Je kunt bijvoorbeeld een filmpje maken voor op de website van het evenement of een flyer om ter plekke uit te delen. Geef de festivalgangers kort en in eenvoudige taal informatie over de werking van de nieren en de rol van het antidiuretisch hormoon (ADH). Leg uit hoe uitdroging en watervergiftiging ontstaan, wat de gevolgen kunnen zijn, hoe je uitdroging en watervergiftiging kunt voorkomen en wat je wel en niet moet doen als je uitdroging of watervergiftiging vermoedt.

▼ Afb. 2



Leerdoelen

- Je kunt van delen van het ademhalingsstelsel de functies en kenmerken noemen.
- Je kunt beschrijven hoe zuurstof en koolstofdioxide door bloed worden getransporteerd.
- Je kunt bij insecten en vissen beschrijven hoe gaswisseling plaatsvindt en hoe zuurstof naar de cellen wordt getransporteerd.

1 Gaswisseling

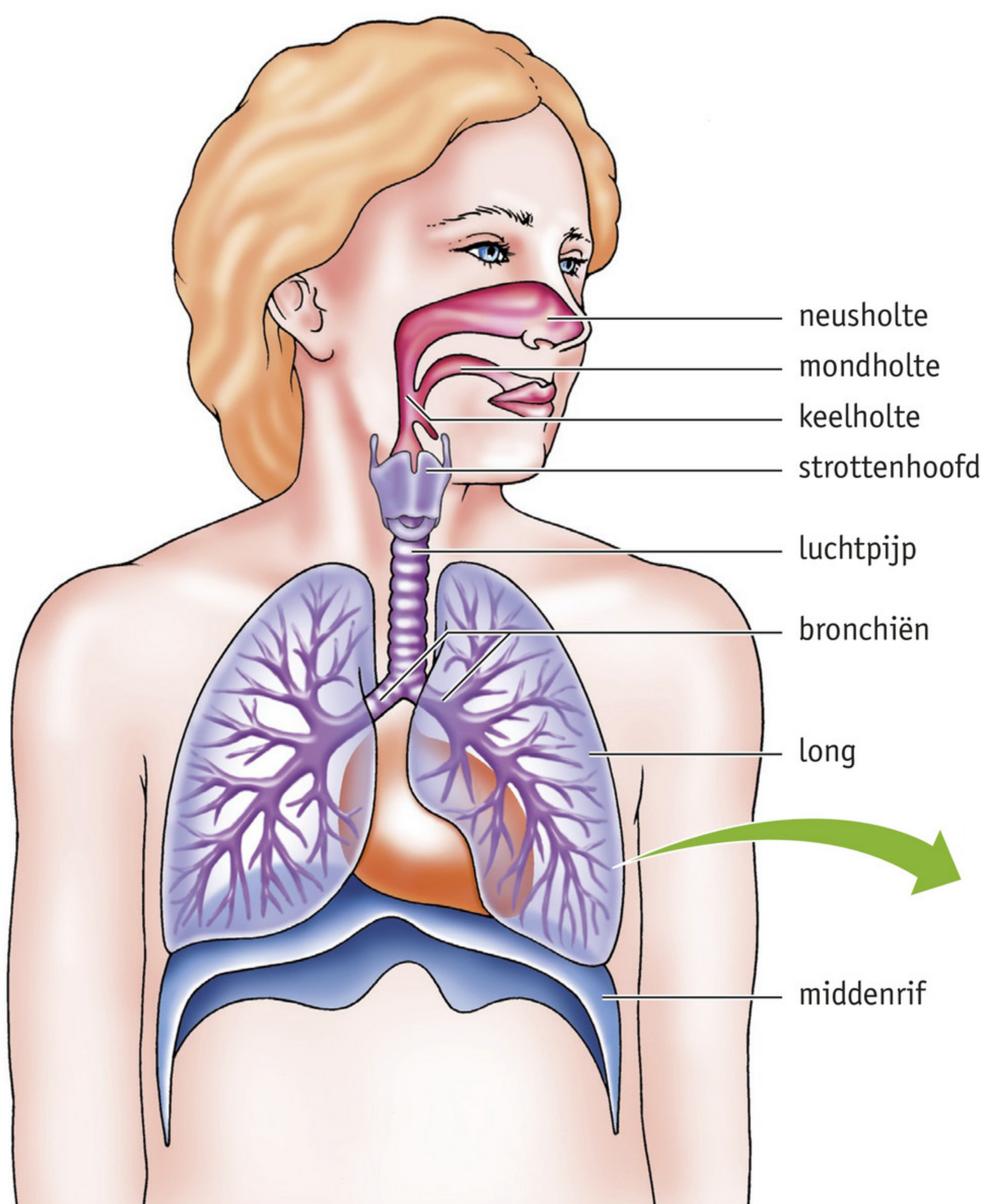
Veel sporters en duikers ondergaan regelmatig een keuring. Een belangrijk deel hiervan is de longfunctietest. Hierbij wordt onder andere de maximale hoeveelheid zuurstof gemeten die in de longen kan worden opgenomen.

DE BOUW VAN HET ADEMHALINGSSTELSEL

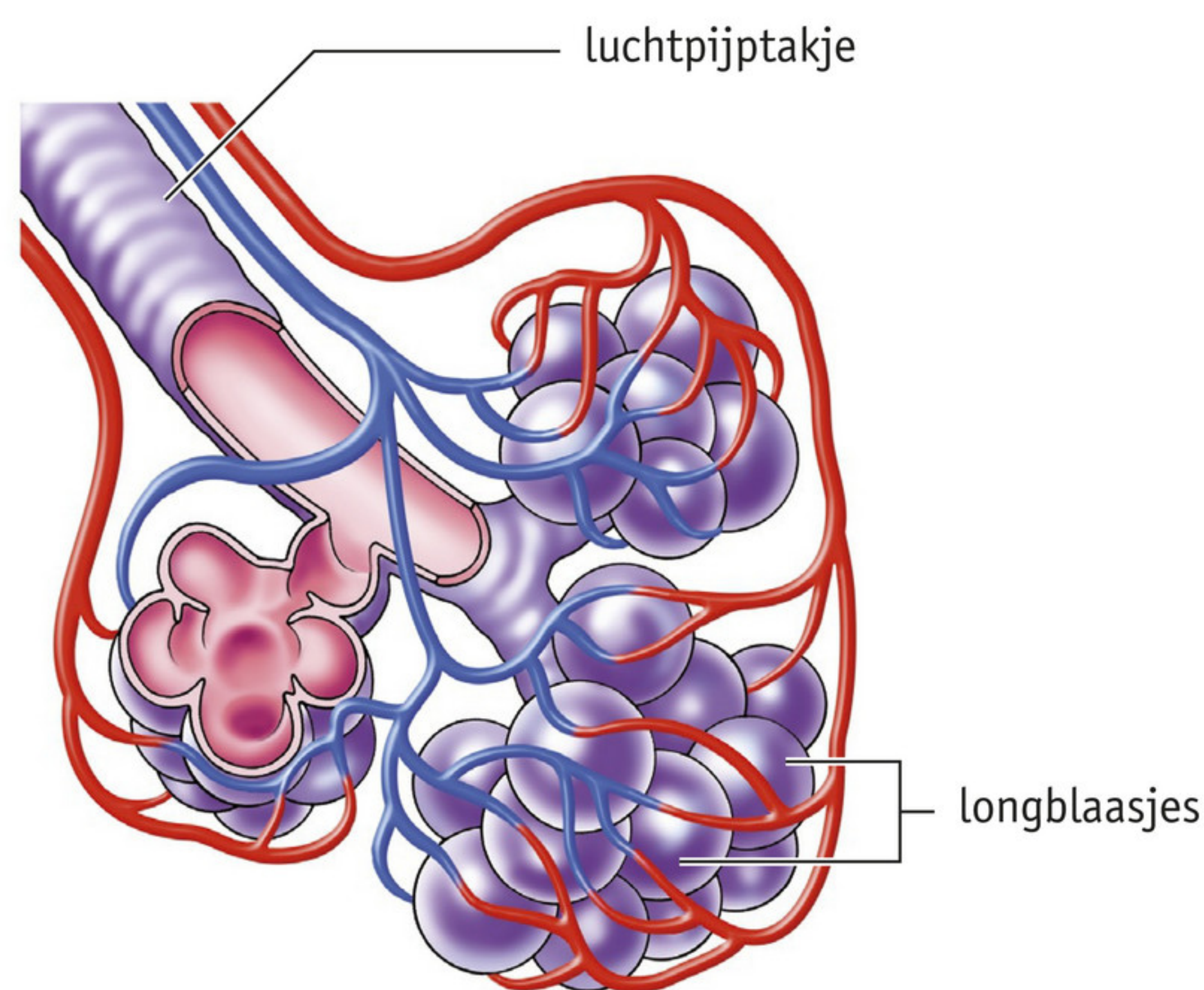
Het ademhalingsstelsel bestaat uit de longen en de luchtwegen (zie afbeelding 1). Met het ademhalingsstelsel neemt het lichaam gassen uit de lucht op en geeft het gassen aan de lucht af. Dit noem je **gaswisseling**. Bij het inademen stroomt lucht door de neus of door de mond naar binnen.

De neusholte is bekleed met **neusslijmvlies**. De buitenste laag cellen van het neusslijmvlies bestaat uit **trilhaarepitheel**, waarin slijmproducerende cellen en trilhaarcellen voorkomen (zie afbeelding 2). Neusharen houden grote ingeademde stofdeeltjes tegen. Kleine stofdeeltjes en ziekteverwekkers blijven aan het slijm op het neusslijmvlies kleven. Bewegingen van de trilharen brengen het slijm naar de

▼ **Afb. 1** Het ademhalingsstelsel van de mens (schematisch).



1 doorsnede

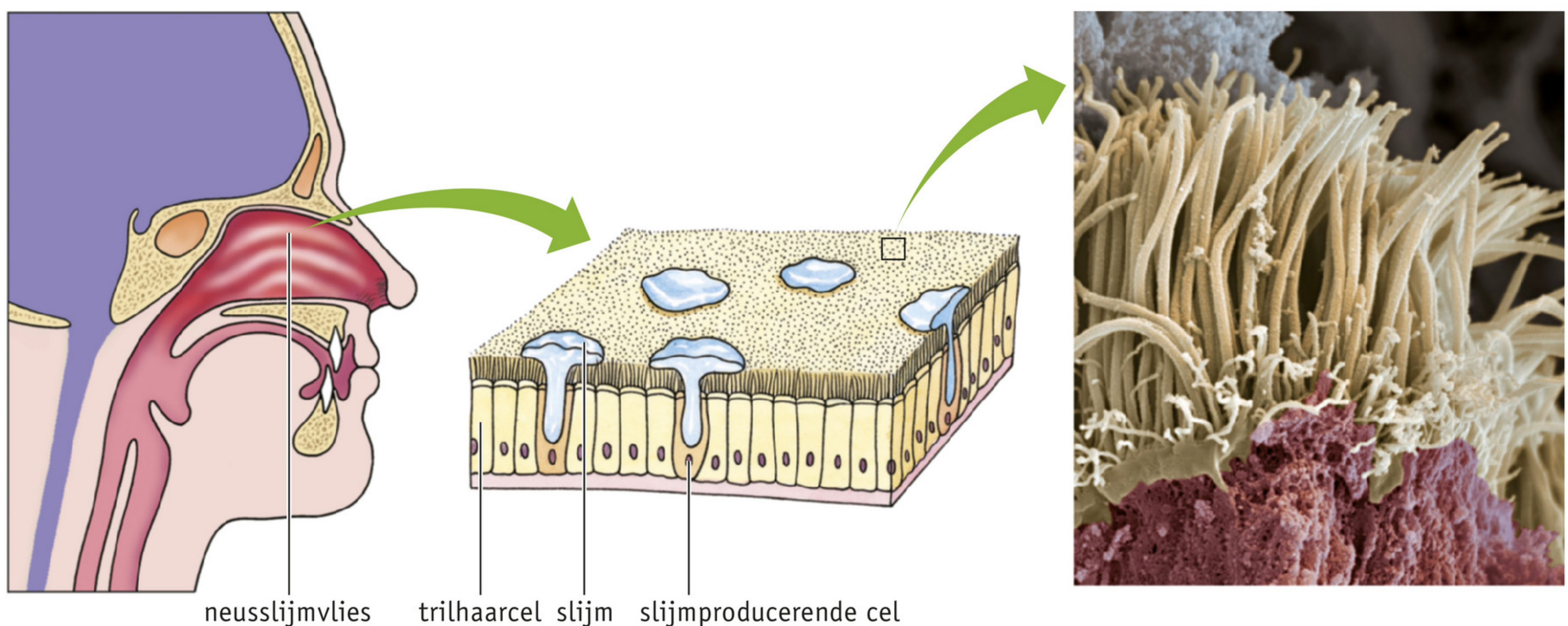


2 longblaasjes

keelholte, waar het samen met speeksel wordt doorgeslikt. De binnenstromende lucht wordt door het slijm vochtig gemaakt en door het bloed in de bloedvaten in het neusslijmvlies verwarmd. Het reukzintuig keurt de binnenstromende lucht op 'vreemde geurtjes', die kunnen duiden op gevaarlijke stoffen.

De neusholte is door nauwe openingen verbonden met de **bijholten**: holten in de schedelbeenderen, bijvoorbeeld de kaakholten en de voorhoofdsholte. De bijholten zijn ook bekleed met slijmvlies. Het slijm hiervan wordt bij gezonde personen afgevoerd via de neusholte. Bij verkoudheid zwelt het neus- en bijholteslijmvlies op, waardoor de uitgangen van de bijholten worden afgesloten. Het slijm in de bijholten hoopt zich dan op, waardoor een 'verstopt' gevoel ontstaat.

▼ **Afb. 2** Het neusslijmvlies.



1 de ligging van het neusslijmvlies

2 schematische tekening van trilhaarepitheel

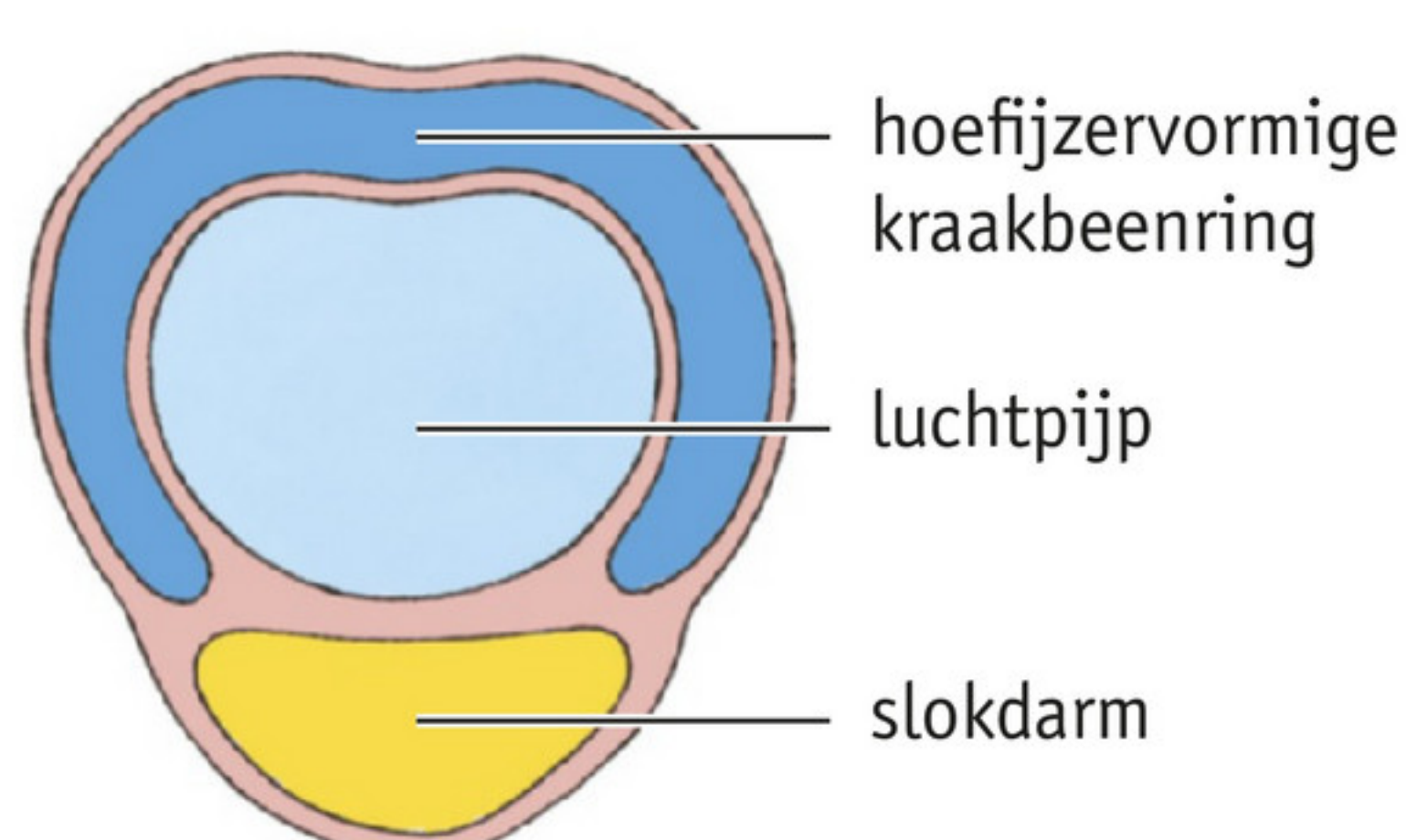
3 elektronenmicroscopische foto van trilhaarepitheel

In de keelholte bevinden zich de huig en het strotklepje. Tussen de keelholte en de luchtpijp zit het strottenhoofd. Hierin liggen de **stembanden**. Dat zijn stevige vliezen die gaan trillen als er lucht langskomt. Hierdoor ontstaan geluiden. Om van deze geluiden herkenbare klanken te maken, zijn de stand van de tong, de tanden en lippen en de vorm van de mondholte belangrijk.

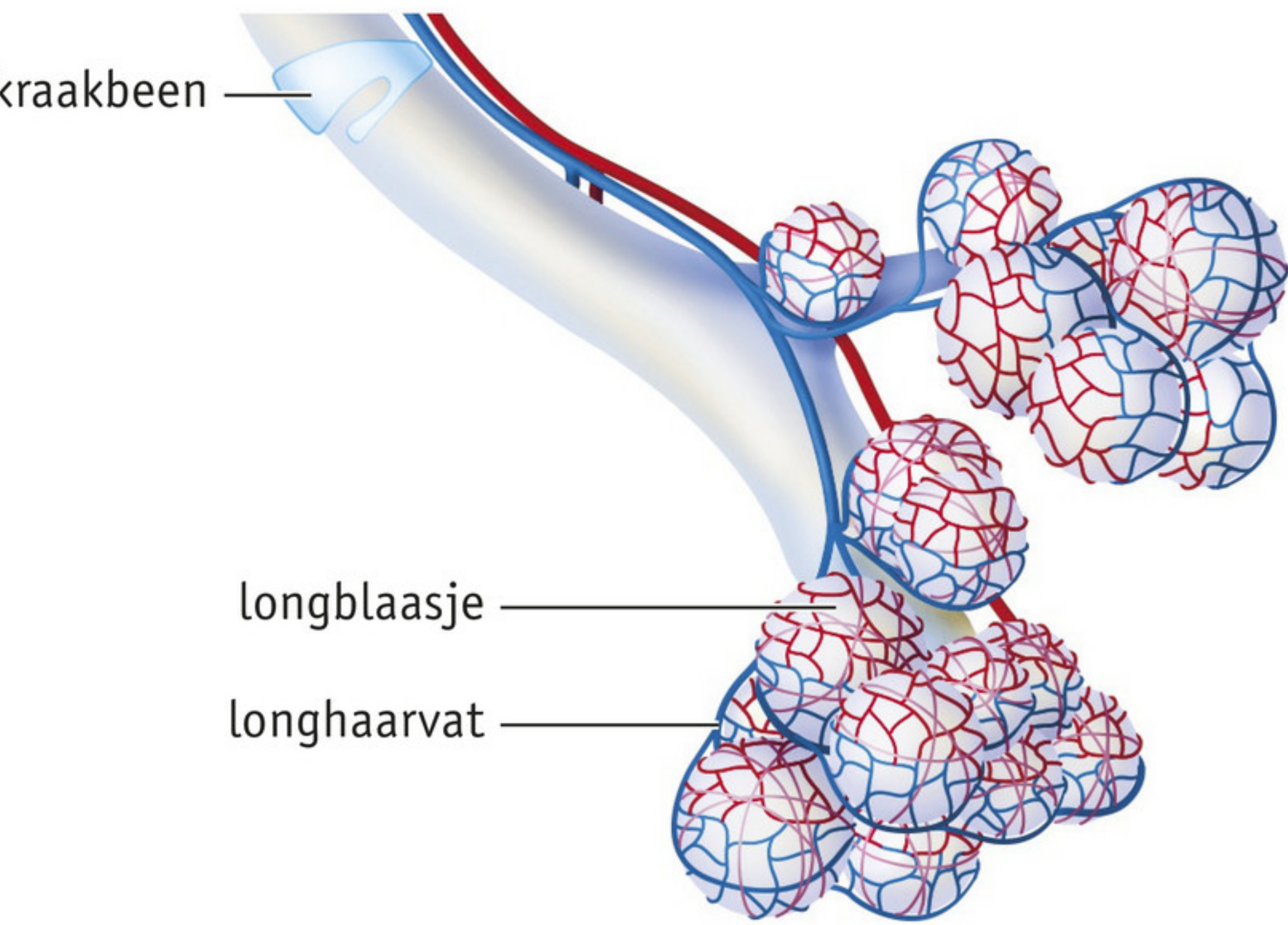
In de wand van de **luchtpijp** en de **bronchiën** zitten hoefijzervormige kraakbeenringen (zie afbeelding 3). De bronchiën vertakken zich in **bronchiolen**, steeds kleinere zijtakjes. De wanden van de bronchiolen hebben geen kraakbeenringen, maar spierweefsel. Door samentrekking of ontspanning van dit spierweefsel kunnen deze bronchiolen zich vernauwen of verwijden. Dit is van invloed op de hoeveelheid lucht die per ademhaling wordt in- en uitgeademd. Het spierweefsel in de wand van de bronchiolen wordt beïnvloed door het autonome zenuwstelsel en door hormonen. Onder invloed van het orthosympatische deel van het autonome zenuwstelsel en van het hormoon adrenaline verwijden de bronchiolen zich.

De binnenwand van de luchtpijp, de bronchiën en de bronchiolen is bekleed met slijmvlies. De buitenste laag cellen van dit slijmvlies bestaat uit trilhaarepitheel. Als het slijmvlies wordt geprikkeld (bijvoorbeeld door stofdeeltjes), ga je hoesten. Aan de uiteinden van de fijnste bronchiolen zitten de **longblaasjes (alveoli)**. Die

▼ **Afb. 3** Doorsnede van de luchtpijp (schematisch).

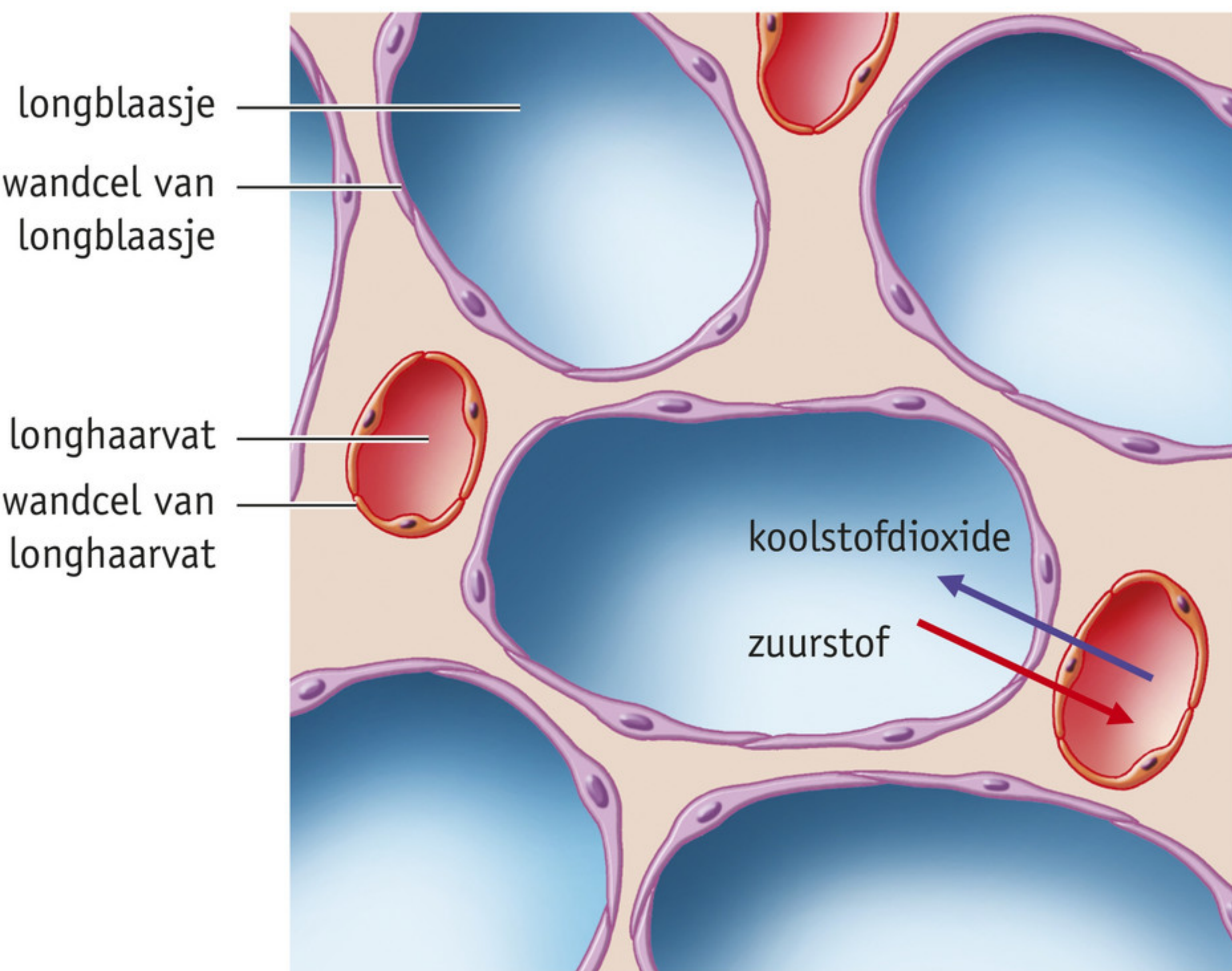


▼ **Afb. 4** Longblaasjes met longhaarvaten (schematisch).



1 buitenaanzicht

hebben een wand die maar één cellaag dik is en die aan de binnenkant is bedekt met een dun laagje vocht (**alveolair vocht**). Om de longblaasjes heen zit een netwerk van fijne bloedvaatjes: de longhaarvaten (zie afbeelding 4).



2 doorsnede van een deel van de longen

ZUURSTOF, KOOLSTOFDIOXIDE EN STIKSTOF

De luchtdruk op zeeniveau is gemiddeld 101,3 kPa (zie afbeelding 5). Het aandeel van zuurstof in de luchtdruk (**partiële zuurstofdruk** of pO_2) is 21,2 kPa. In de longen vindt diffusie plaats van een gas naar een vloeistof: vanuit de **alveolaire lucht** naar het alveolaire vocht. Vanuit het alveolaire vocht vindt diffusie plaats naar het bloed in de longhaarvaten (zie afbeelding 6). De diffusie wordt vooral veroorzaakt door het verschil in partiële gasdruk tussen het alveolaire vocht en het bloedplasma. Dit verschil wordt gehandhaafd doordat de lucht in de longblaasjes voortdurend wordt verversd en doordat het bloed langs de longblaasjes blijft stromen.

Bloed bevat koolstofdioxide, onder andere opgelost in het bloedplasma. Door het verschil in partiële koolstofdioxidedruk (pCO_2) vindt diffusie plaats van het bloedplasma naar het alveolaire vocht. Vandaaruit wordt koolstofdioxide afgegeven aan de alveolaire lucht.

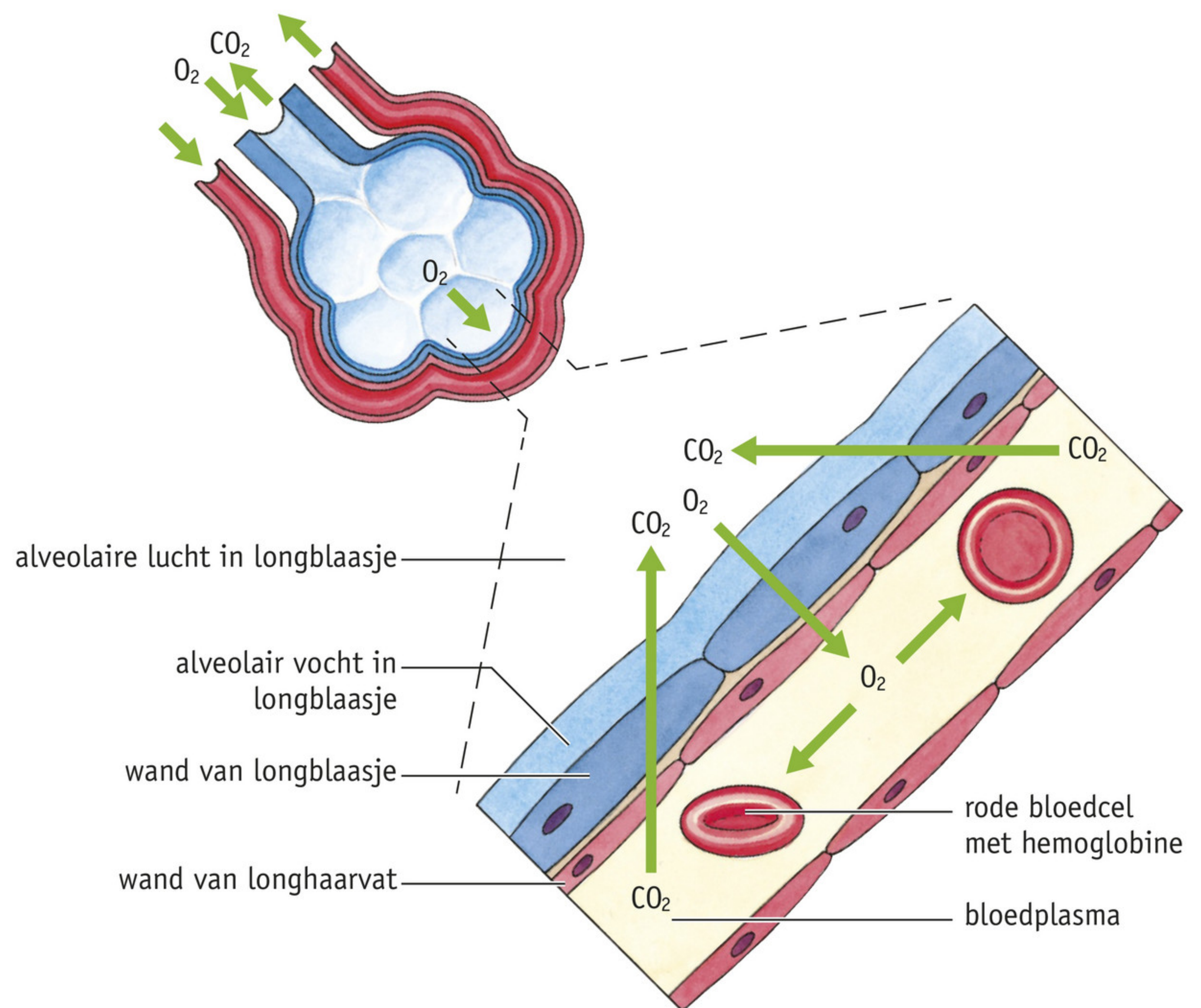
Lucht bestaat voor ongeveer 79% uit stikstof. Er is geen verschil in partiële stikstofdruk (pN_2) tussen de lucht in de longblaasjes en het bloedplasma. Er gaan stikstofmoleculen vanuit de lucht in de longblaasjes naar het bloedplasma en er gaan evenveel stikstofmoleculen in omgekeerde richting.

▼ **Afb. 5** De partiële gasdruk in de buitenlucht, in de longblaasjes en in uitgeademde lucht (kPa).

	Droge buitenlucht	Lucht in longblaasjes	Uitgeademde lucht
pN_2	80,1	76,4	75,9
pO_2	21,2	13,3	15,4
pCO_2	0,03	5,3	3,7
pH_2O^*	0	6,3	6,3
p_{totaal}	101,3**	101,3	101,3

* De hoeveelheid waterdamp in de buitenlucht is variabel en mede afhankelijk van de temperatuur.
** afgerond

► **Afb. 6** Gaswisseling tussen longblaasjes en longhaarvaten.



WET VAN FICK

Diffusie is onder andere afhankelijk van het diffusieoppervlak, de diffusieafstand en het concentratie- of drukverschil. Dit is vastgelegd in de **wet van Fick**. In formulevorm:

$$n = D \times A \times \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Hierin is:

n = diffusiesnelheid;

D = diffusiecoëfficiënt (in $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$);

A = diffusieoppervlak (in m^2);

Δc = concentratieverschil ($c_1 - c_2$ in $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$) of Δp = drukverschil ($p_1 - p_2$);

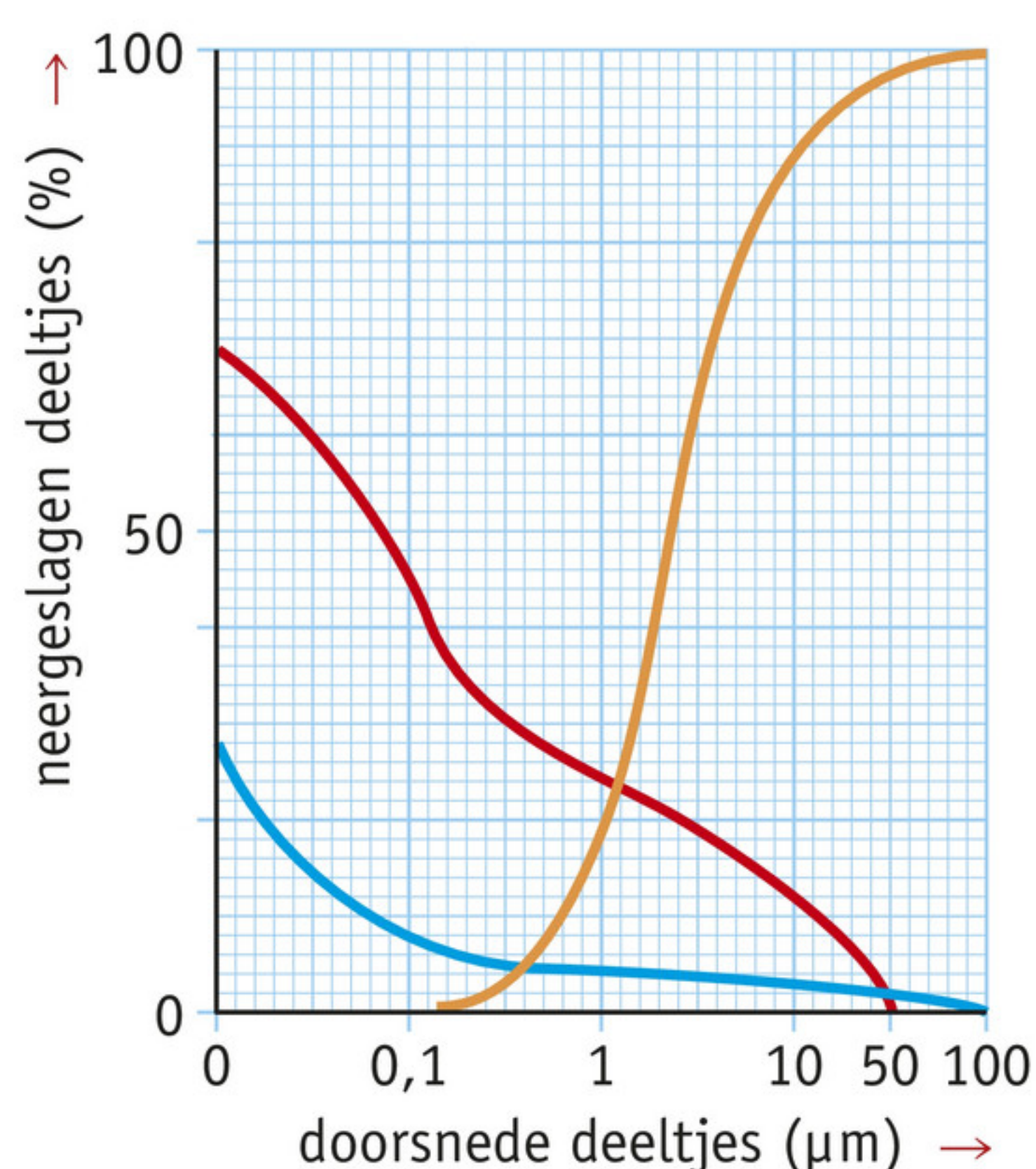
Δx = diffusieafstand (in m).

Door de bouw en de werking van het ademhalingsstelsel van de mens worden de factoren die de diffusiesnelheid vergroten gunstig beïnvloed. Hierdoor kan de diffusie sneller plaatsvinden.

opdrachten

- 1 Inademen door de neus is gezonder dan inademen door de mond.
 - a Welke vier redenen zijn hiervoor te noemen?
 - b Kun je tegelijk slikken en ademhalen? Leg je antwoord uit.
- 2 Adrenaline noem je ook wel het 'fight, flight en fright-hormoon'. Het is functioneel dat de bronchiolen onder invloed van adrenaline wijder worden. Leg dit uit.

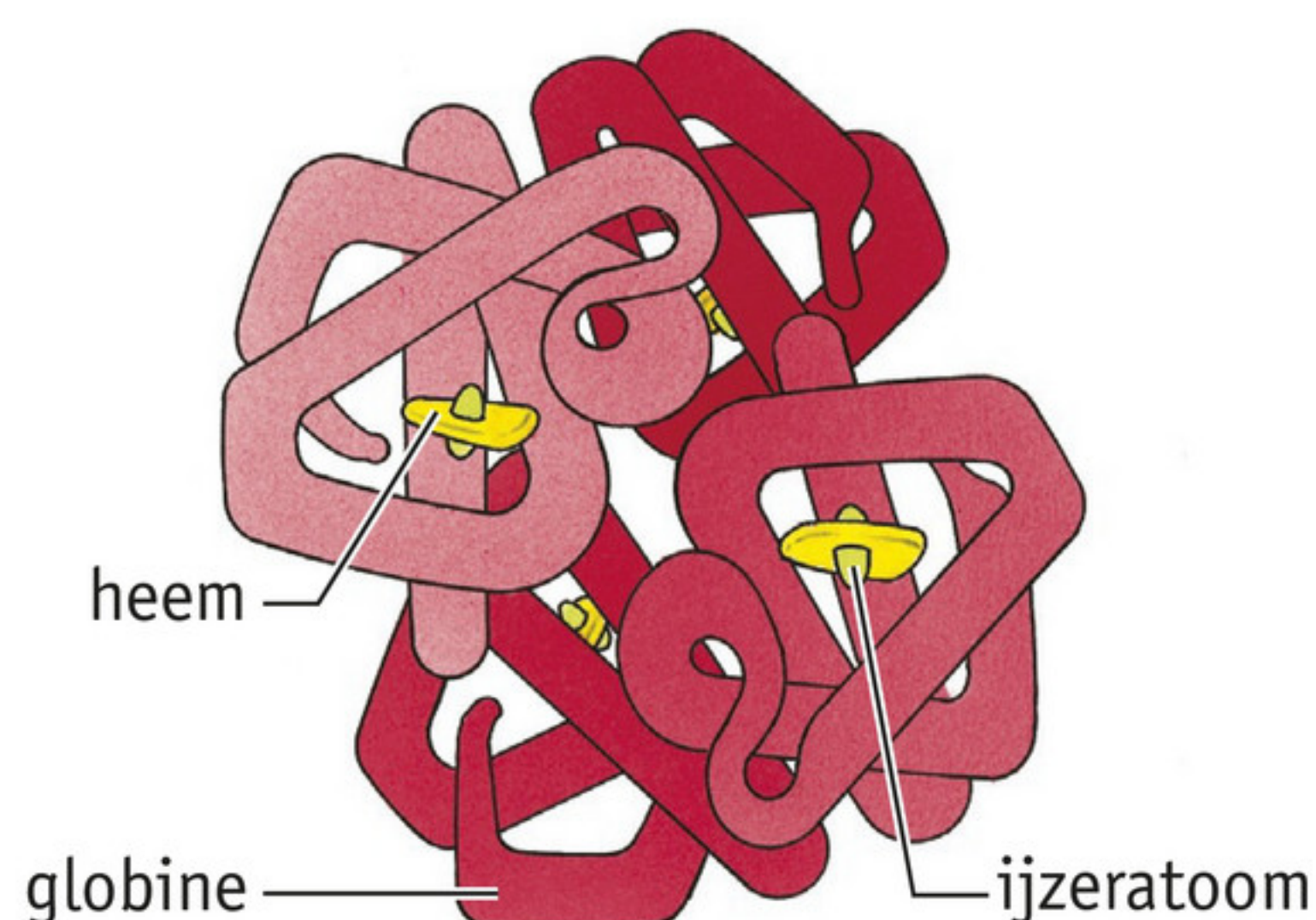
▼ Afb. 7



Legenda:

- neus-keelholte
- luchtpijp, bronchiën en bronchiolen
- longblaasjes

▼ Afb. 8 Een hemoglobinemolecuul (ruimtelijk model).



► Afb. 9 Evenwichtsreactie.



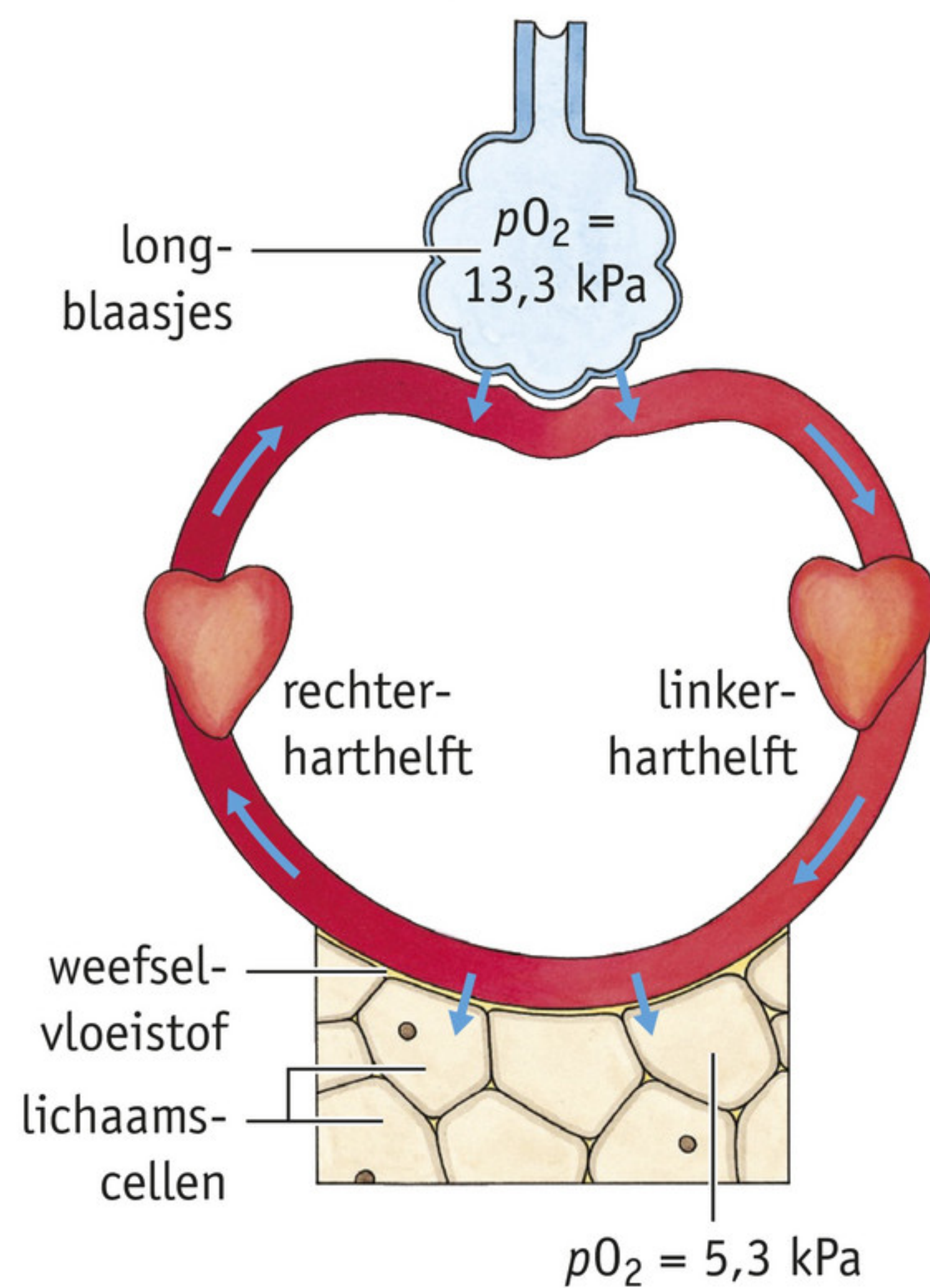
- 3 Welk verschil in $p\text{O}_2$ is er tussen het alveolaire vocht en het bloedplasma?
- 4 In de lucht bevinden zich allerlei soorten deeltjes. Meer of minder fijn verdeelde vloeistof of vaste stof in een gas heet een aerosol. De doorsnede van de deeltjes in aerosolen varieert van 0,01 tot 100 μm . In het diagram van afbeelding 7 is weergegeven welk percentage van de deeltjes van de aerosolen bij inademing via de neus neerslaat op de wand van verschillende delen van het ademhalingsstelsel. Op basis van de gegevens in het diagram doen twee leerlingen een uitspraak.
 - a Jelmer zegt dat er in de lucht die wordt uitgeademd geen aerosolen meer voorkomen.
Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.
 - b Tristan zegt dat er bij inademing door de mond minder aerosoldeeltjes met een doorsnede van 50 μm in de luchtpijp komen dan bij inademing door de neus.
Is deze uitspraak juist? Leg je antwoord uit.
- 5
 - a In welke eenheid wordt de diffusiesnelheid (n) uitgedrukt?
 - b Op welke manier wordt in het ademhalingsstelsel van de mens het diffusieoppervlak A gunstig beïnvloed?
 - c Op welke manier wordt in het ademhalingsstelsel van de mens de diffusieafstand Δx gunstig beïnvloed?
 - d Op welke twee manieren wordt in het ademhalingsstelsel van de mens het verschil in zuurstofdruk en koolstofdioxidedruk Δp gunstig beïnvloed?
 - e Iemand gaat op een zeer koude winterdag naar buiten en ademt ijskoude lucht in.
Waardoor wordt de opname van zuurstof in het bloed door diffusie nu moeilijker? En welke factor in de wet van Fick heeft een lagere waarde?
 - f Welke factoren in de wet van Fick zijn bij eencellige organismen gunstig voor de diffusiesnelheid?

HET TRANSPORT VAN ZUURSTOF

In bloedplasma kan slechts een kleine hoeveelheid zuurstof oplossen. De zuurstof in het bloed wordt voor het grootste deel gebonden aan hemoglobine (Hb) in de rode bloedcellen. Een hemoglobinemolecuul bestaat uit het grote eiwit globine en vier heemgroepen, die elk een ijzeratoom bevatten (zie afbeelding 8).

Elk ijzeratoom is in staat een zuurstofmolecuul te binden. Hierdoor ontstaat **oxyhemoglobine** (HbO_2). Deze reactie is een evenwichtsreactie (zie afbeelding 9). In een omgeving met een lage zuurstofconcentratie verloopt de evenwichtsreactie naar links. In een omgeving met een hoge zuurstofconcentratie, zoals in de longhaarvaten (zie afbeelding 10), verloopt deze reactie naar rechts. Als alle hemoglobine is omgezet in oxyhemoglobine, noem je de hemoglobine verzadigd. Bloed met veel oxyhemoglobine is lichtrood en bloed met veel hemoglobine donkerrood.

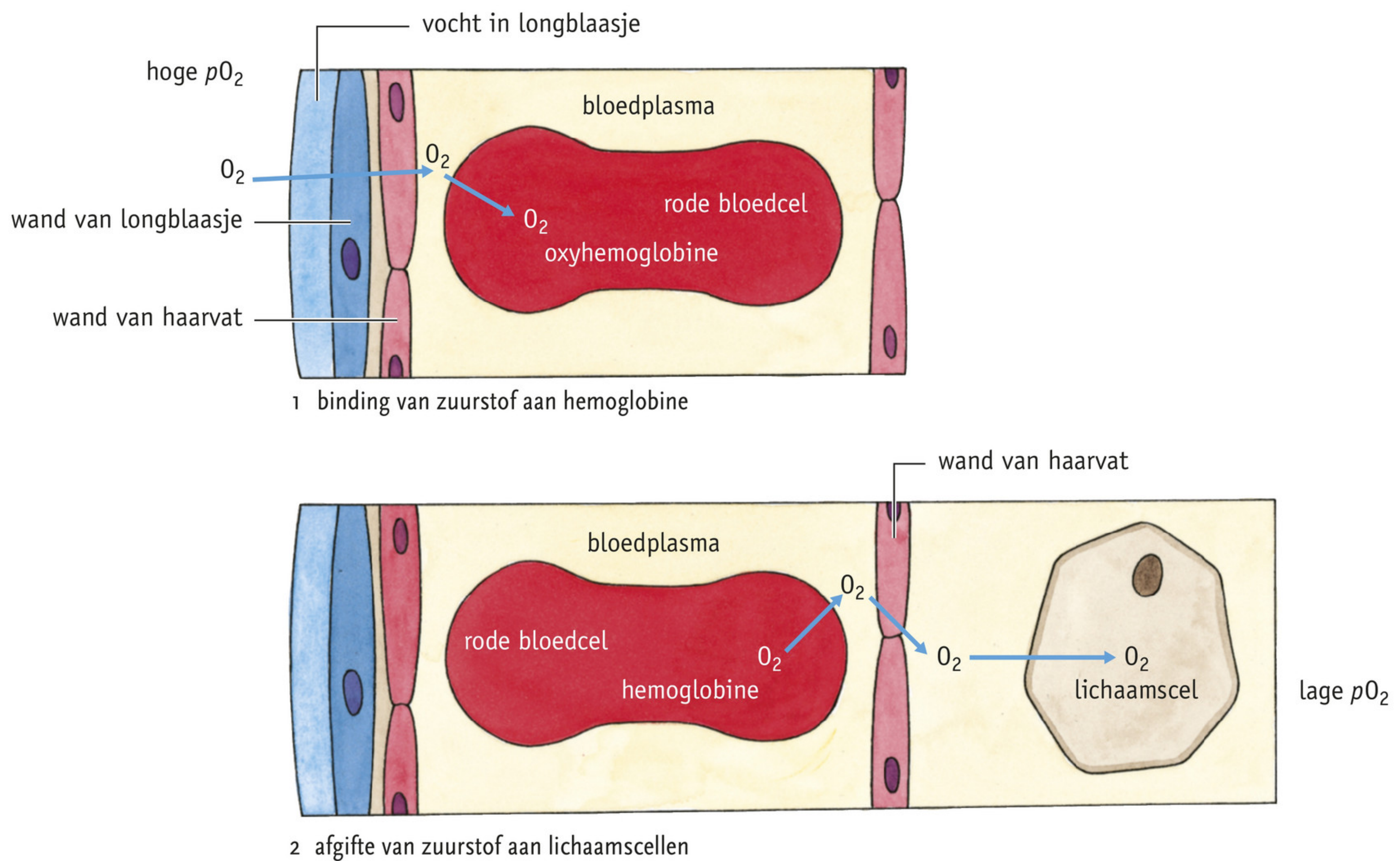
- ▼ **Afb. 10** De pO_2 van het bloed in de grote en kleine bloedsomloop bij een persoon in rust (schematisch).



De zuurstof die vanuit de longblaasjes het bloedplasma in diffundeert, wordt voor het grootste deel meteen gebonden aan hemoglobine (zie afbeelding 11.1). Hierdoor blijft er ondanks de diffusie van zuurstof naar het bloedplasma toch een verschil in zuurstofconcentratie bestaan tussen het alveolaire vocht en het bloedplasma. De diffusie blijft daardoor doorgaan. Pas als de hemoglobine vrijwel geheel met zuurstof is verzadigd, kan de zuurstofconcentratie van het bloedplasma gelijk worden aan die van het alveolaire vocht. In een omgeving met een lage zuurstofconcentratie, zoals in de haarvaten van organen, vindt omzetting van oxyhemoglobine in hemoglobine en zuurstof plaats. Veel van de bindingen tussen zuurstofmoleculen en hemoglobine worden verbroken. De vrijgekomen zuurstofmoleculen diffunderen via de weefselvloeistof naar de cellen (zie afbeelding 11.2).

In de spieren komt het eiwit myoglobine voor dat O_2 kan binden en afgeven. Myoglobine is vergelijkbaar met hemoglobine.

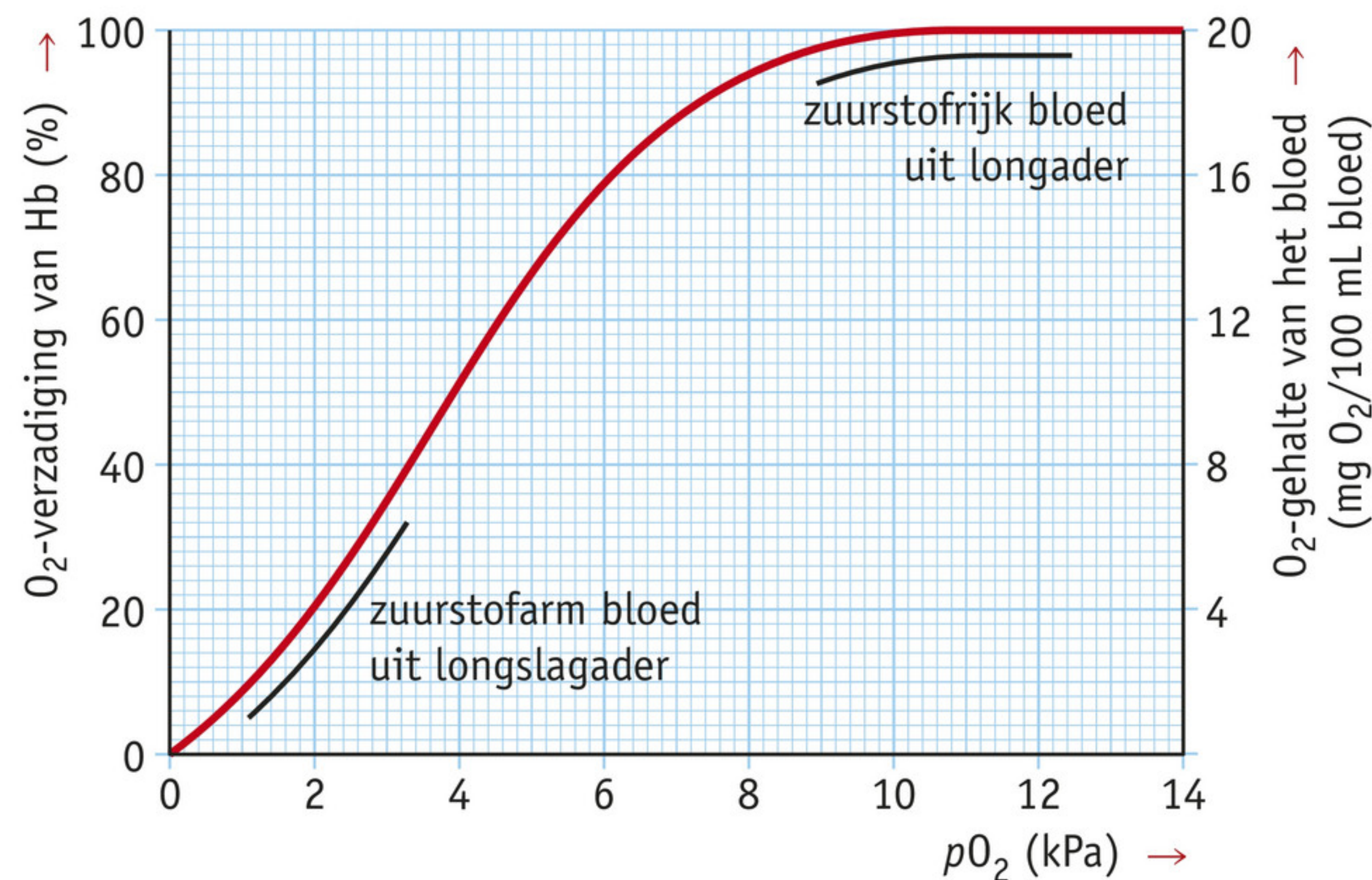
- ▼ **Afb. 11** Het transport van zuurstof.



EEN VERZADIGINGSKROMME

De hoeveelheid vrijkomende zuurstofmoleculen is afhankelijk van de pO_2 die in een weefsel heerst. Deze pO_2 is weer afhankelijk van de activiteit van de cellen van het weefsel. In een weefsel in rust is de pO_2 ongeveer 5,3 kPa; in een actief weefsel heerst een veel lagere pO_2 . Het verband tussen de pO_2 van het interne milieu en het percentage verzadigde hemoglobine wordt weergegeven in een verzadigingskromme (zie afbeelding 12).

► **Afb. 12** De pO_2 -verzadigingskromme van hemoglobine.



DE INVLOED VAN DE PH

De pH van het bloed is ook van invloed op de ligging van het evenwicht bij de reactie tussen hemoglobine en zuurstof. De pH van het bloed wordt beïnvloed door de CO_2 -concentratie. Bij een weefsel waarvan de cellen in rust verkeren, is de pCO_2 ongeveer 2,7 kPa en heeft het bloed in de haarvaten een pH van ongeveer 7,4. In een actief weefsel heerst een veel hogere pCO_2 (tot circa 11 kPa). Door opname van veel CO_2 daalt de pH van het bloed in de haarvaten. Hierdoor verschuift het evenwicht bij de reactie naar links: er komen meer zuurstofmoleculen vrij (het **Bohr-effect**).

Ten slotte is ook de temperatuur van invloed op de ligging van het evenwicht. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer zuurstof er vrijkomt uit oxyhemoglobine.

opdrachten

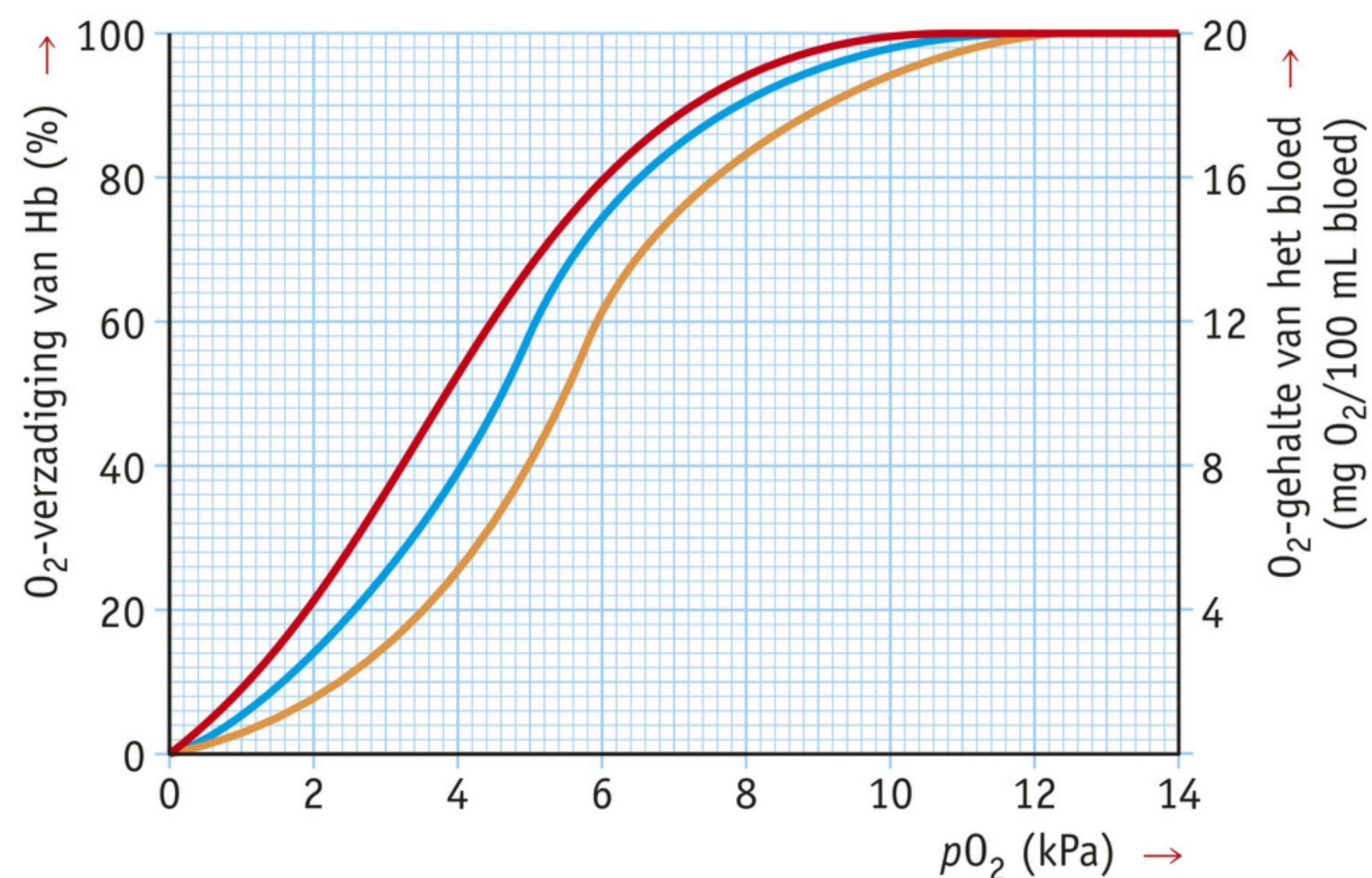
- 6 Wanneer de zuurstofconcentratie van het bloedplasma gelijk is aan die van het alveolaire vocht, heeft de hemoglobine in 100 mL bloed ongeveer 20 mL zuurstof gebonden. In het bloedplasma is dan ongeveer 0,5 mL zuurstof opgelost.
 - a Hoeveel procent van de in het bloed aanwezige zuurstof wordt gebonden aan hemoglobine getransporteerd? En hoeveel procent opgelost in het bloedplasma?
 - b De pO_2 van alveolaire lucht is 13,3 kPa. Hoeveel procent van de hemoglobine raakt onder deze omstandigheden verzadigd?
- 7
 - a Heeft een variërende pO_2 van de buitenlucht grote gevolgen voor de zuurstofopname in de longhaarvaten? Leg je antwoord uit.
 - b Hoeveel milliliter O_2 wordt door 100 mL bloed in de haarvaten van een weefsel in rust afgegeven? Noteer je berekening.
 - c Het is gunstig dat de verzadigingskromme van hemoglobine het steilst loopt bij pO_2 -waarden die in de weefsels voorkomen. Leg dit uit.

- d In afbeelding 12 is de verzadigingskromme van hemoglobine weergegeven bij 37 °C. In actief weefsel kan de temperatuur toenemen. Ligt de verzadigingskromme van hemoglobine bij een hogere temperatuur links of rechts van de weergegeven verzadigingskromme? Leg je antwoord uit.
- 8 Koolstofmonoxide (CO) is een reukloos gas dat ontstaat door onvolledige verbranding in bijvoorbeeld verwarmingsketels. Onvolledige verbranding vindt plaats als er onvoldoende zuurstof is, bijvoorbeeld in een slecht geventileerde ruimte. Na inademing bindt CO op dezelfde plaats in het Hb-molecuul als O₂, alleen ongeveer 200× zo sterk. Deze verbinding wordt daardoor niet gemakkelijk verbroken. Als je in een ruimte met 0,05% CO verblijft, raakt al bijna de helft van je hemoglobine verzadigd met CO. Welke gevolgen heeft het verblijf voor jou in zo'n ruimte?
- 9 In afbeelding 13 zijn verzadigingskrommen van hemoglobine weergegeven bij verschillende koolstofdioxideconcentraties.
- a In weefsel P heerst een pO₂ van 5 kPa en een pCO₂ van 5 kPa. Hoeveel milliliter O₂ bevat 100 mL bloed onder deze omstandigheden?
- b In weefsel Q heerst ook een pO₂ van 5 kPa, maar de pCO₂ is gedaald tot 2,5 kPa. Hoeveel milliliter O₂ bevat 100 mL bloed onder deze omstandigheden?
- c Welk voordeel heeft het dat de pCO₂ van de weefsels invloed heeft op de ligging van het evenwicht bij de reactie tussen hemoglobine en zuurstof?

► **Afb. 13** Verzadigingskrommen van hemoglobine bij verschillende koolstofdioxideconcentraties.

Legenda:

- pCO₂ = 2,5 kPa
- pCO₂ = 5 kPa
- pCO₂ = 10 kPa

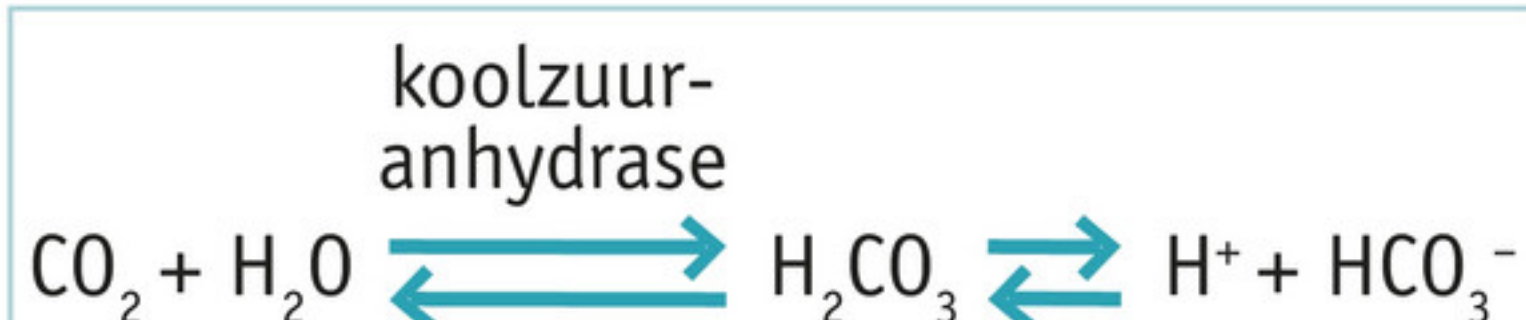


HET TRANSPORT VAN KOOLSTOFDIOXIDE

Bij dissimilatie in cellen ontstaat koolstofdioxide. In de organen treedt door concentratieverschil diffusie van koolstofdioxide naar het bloed in de haarvaten op. Een klein deel van dit koolstofdioxide wordt als CO₂ door het bloedplasma vervoerd. Het grootste deel (70%) wordt vervoerd als **waterstofcarbonaationen** (HCO₃⁻). Deze ionen ontstaan vooral in de rode bloedcellen, maar worden opgelost in het bloedplasma vervoerd. De rest van het opgenomen CO₂ (23%) wordt in rode bloedcellen vervoerd, gebonden aan hemoglobine.

Koolstofdioxide kan met water binden tot H₂CO₃ dat zeer instabiel is en meteen uiteenvalt (zie afbeelding 14). In rode bloedcellen zit het enzym **koolzuuranhydrase**, dat deze evenwichtsreactie versnelt. De HCO₃⁻-ionen die bij deze reactie ontstaan, diffunderen naar het bloedplasma (zie afbeelding 15.1).

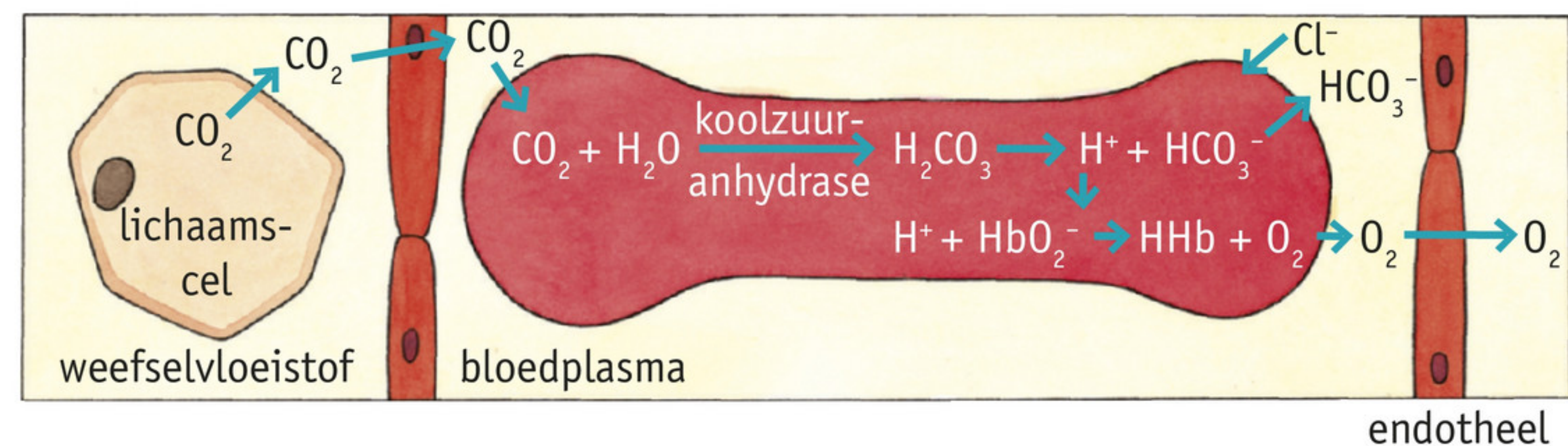
▼ **Afb. 14** Evenwichtsreactie.



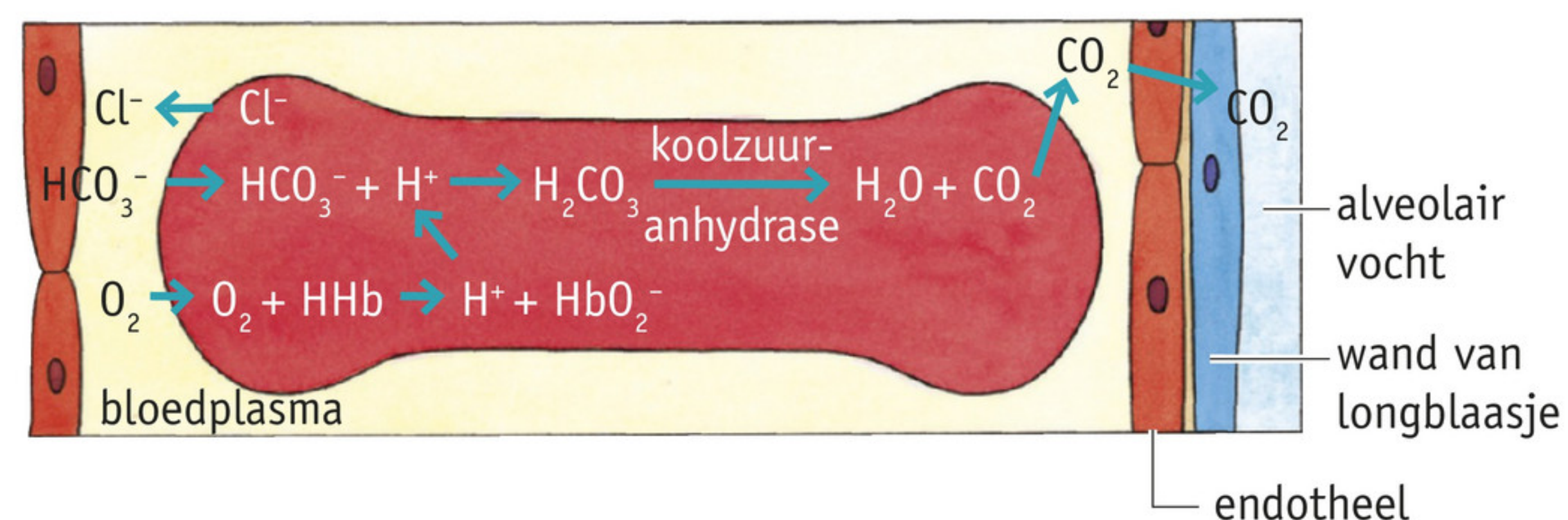
Het uittreden van HCO_3^- -ionen dreigt het elektrisch ladingsverschil van het celmembraan van rode bloedcellen te verstoren. Dit wordt echter voorkomen doordat Cl^- -ionen zich vanuit het bloedplasma verplaatsen naar de rode bloedcellen. De H^+ -ionen die bij de reactie ontstaan, worden gebonden aan hemoglobine. Hierbij komt O_2 vrij (zie afbeelding 15.1).

In de longhaarvaten diffundeert het opgeloste CO_2 vanuit het bloedplasma naar het alveolaire vocht. Het aan hemoglobine gebonden CO_2 en de gebonden H^+ -ionen komen vrij, onder andere doordat er zuurstof aan de hemoglobine wordt gebonden (zie afbeelding 15.2). HCO_3^- -ionen diffunderen vanuit het bloedplasma naar de rode bloedcellen. Samen met de H^+ -ionen vormen ze H_2CO_3 , dat onder invloed van koolzuuranhydrase meteen wordt gesplitst in CO_2 en H_2O . Het vrijgekomen CO_2 verlaat de rode bloedcellen en diffundeert naar het alveolaire vocht.

► **Afb. 15** Het transport van koolstofdioxide (schematisch).



1 processen in weefselhaarvaten



2 processen in longhaarvaten

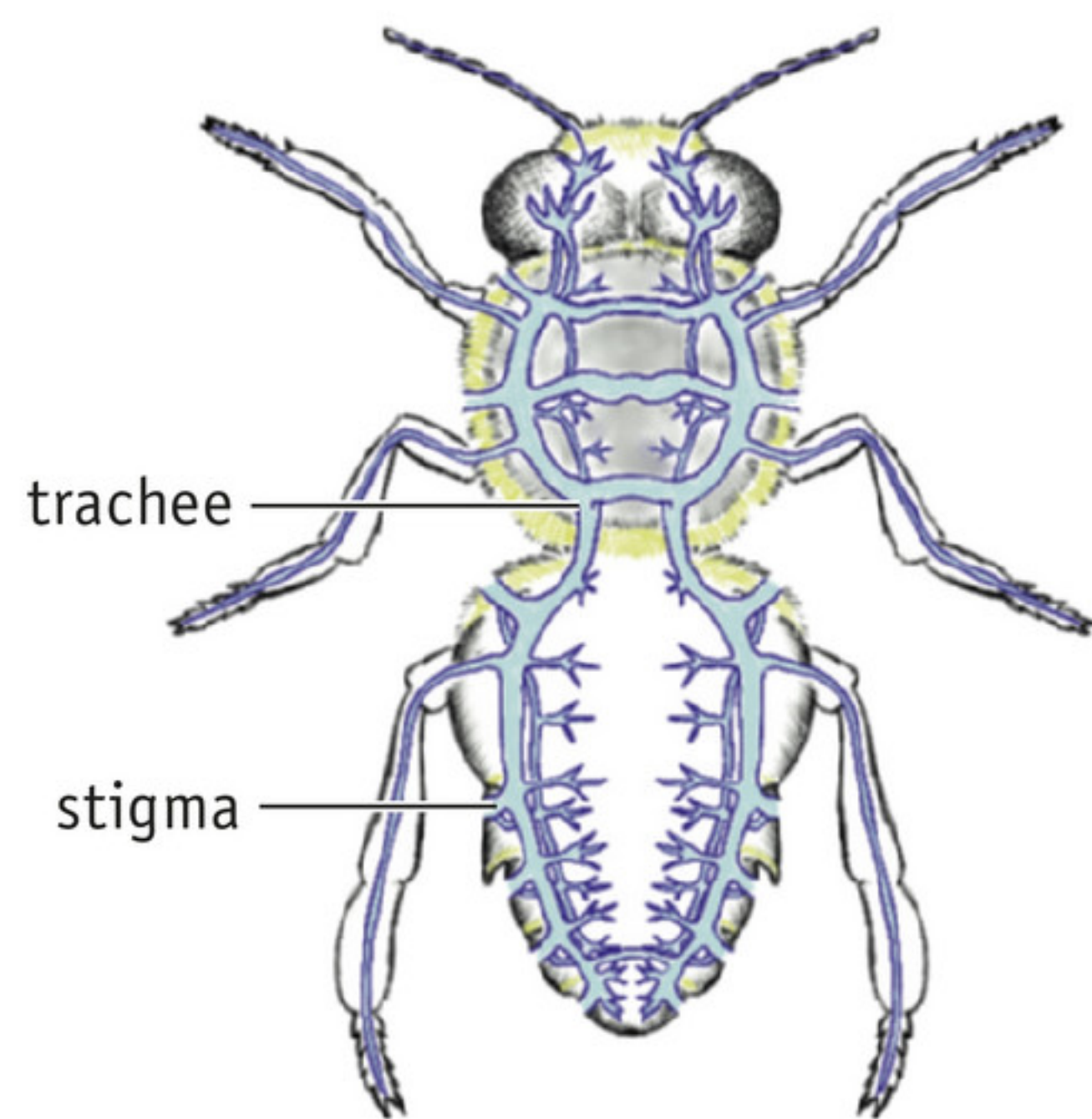
opdracht

- 10 a** In welke richting verschuift de evenwichtsreactie van afbeelding 14 in de longhaarvaten? En in welke richting in andere haarvaten?
- b** Koolzuuranhydrase bevindt zich in de rode bloedcellen en niet in het bloedplasma.
Leg uit welk voordeel dat heeft.

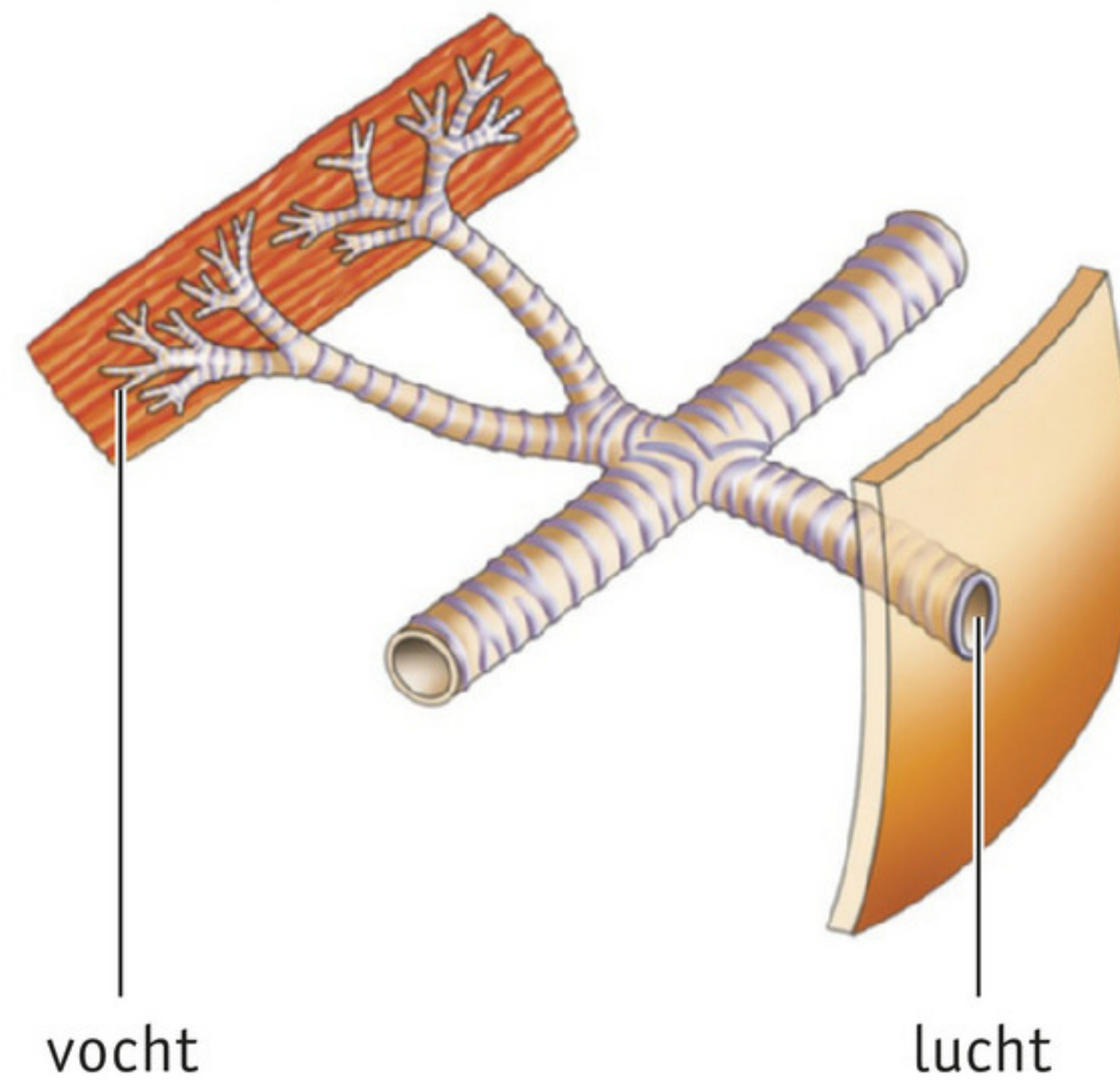
GASWISSELING BIJ INSECTEN

Ook bij andere organismen vindt gaswisseling plaats. Bij insecten vindt gaswisseling plaats in **tracheeën**. Dit zijn sterk vertakte adembuizen (zie afbeelding 16). Tracheeën worden opengehouden door spiraalvormige verdikkingen van chitine, een hoornachtige stof. Bij veel insecten bevinden zich vooral in het achterlijf de openingen van de tracheeën: de **stigmata** (enkelvoud: stigma) (zie afbeelding 17). Een insect kan de lucht verversen door pompende bewegingen met het achterlijf te maken.

De uiteinden van tracheeën zijn gevuld met vocht. Via dit vocht en via het bloed diffundeert zuurstof vanuit de lucht naar de cellen. Koolstofdioxide diffundeert in tegengestelde richting. Het bloed van insecten bevat geen hemoglobine; gassen diffunderen rechtstreeks naar en van de cellen.

▼ **Afb. 16** Gaswisselingsorganen bij insecten (schematisch).

1 tracheeënstelsel



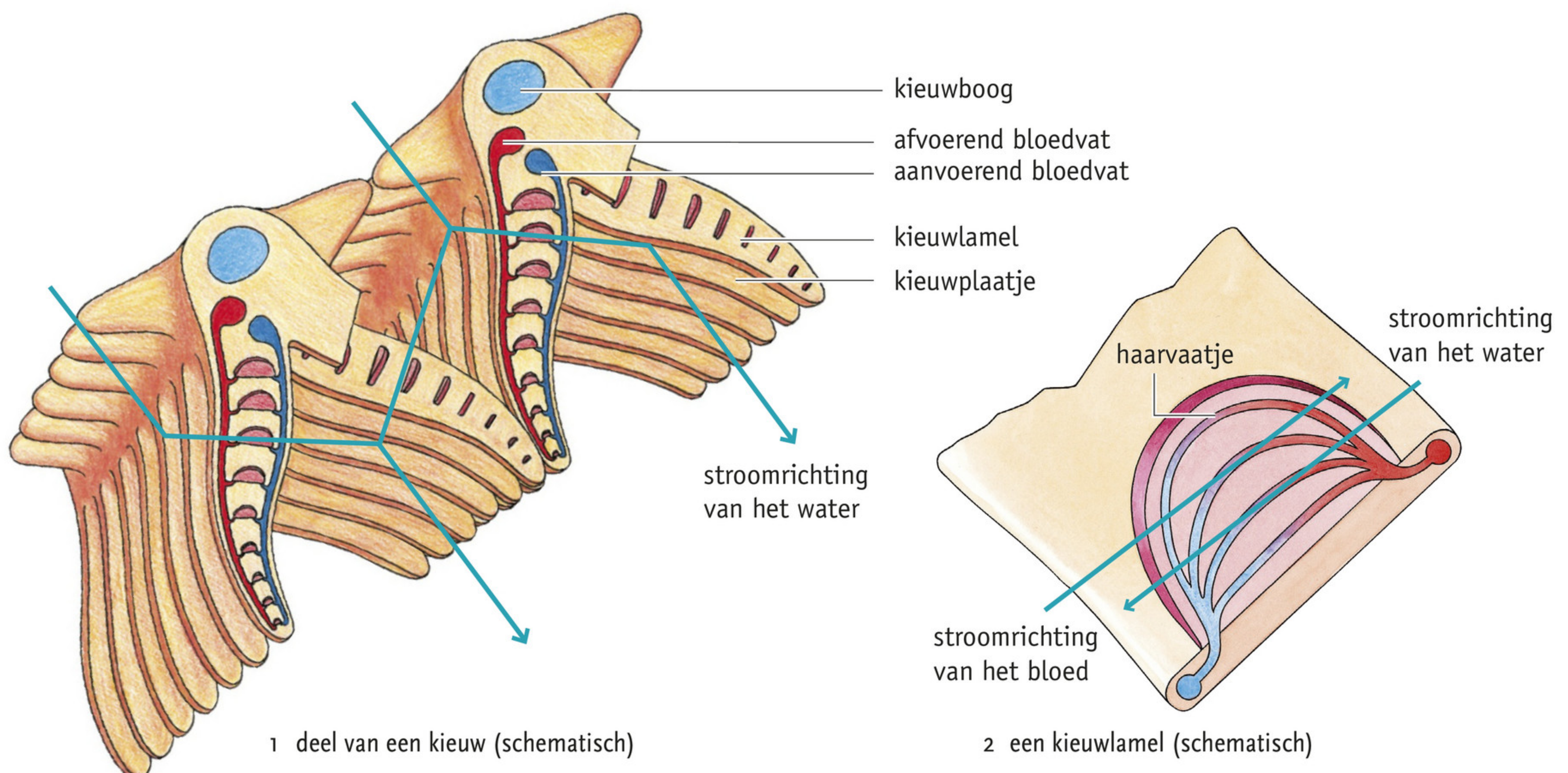
2 trachee met stigma

▼ **Afb. 17** Een rups met stigmata.**GASWISSELING BIJ VISSSEN**

Bij vissen vindt gaswisseling plaats in **kieuwen** die vlak achter de kop in de kieuwholten liggen. De kieuwen zijn opgebouwd uit kieuwbogen met een groot aantal kieuwplaatjes (zie afbeelding 18). Tussen de kieuwbogen bevinden zich kieuwspleten. Omdat water weinig zuurstof bevat, ververst een vis het water in de kieuwen voortdurend. Bij de meeste vissen gebeurt dit door het afwisselend openen en sluiten van de bek en de kieuwdeksels. Op de kieuwplaatjes bevinden zich dunne kieuwlamellen. De toppen van de kieuwplaatjes van twee naast elkaar liggende kieuwbogen raken elkaar. Daardoor wordt het water langs de kieuwlamellen geperst. De kieuwlamellen bevatten veel kleine haarvaten. Het bloed bevat hemoglobine, waardoor 80% van de zuurstof uit het water kan worden opgenomen. Bij de kieuwlamellen is de stroomrichting van het water tegengesteld aan de stroomrichting van het bloed. Door dit **tegenstroomprincipe** kan veel zuurstof uit het water worden opgenomen. In afbeelding 18 is dit schematisch weergegeven. Door de vele kieuwlamellen is het gaswisselingsoppervlak zeer groot.

▼ **Afb. 18** Het tegenstroomprincipe bij een vis.

► PRACTICUMOPDRACHT 1



1 deel van een kieuw (schematisch)

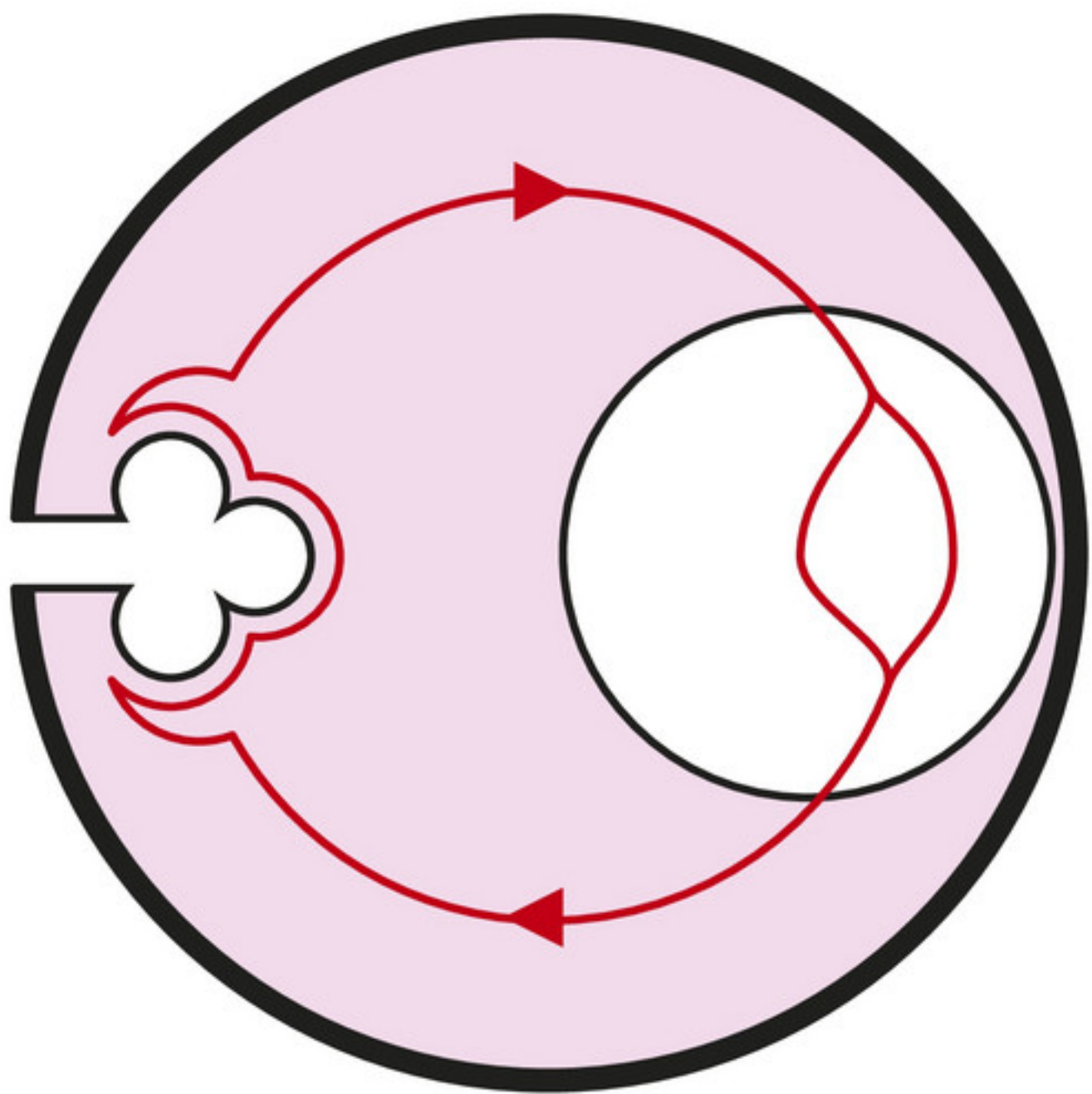
2 een kieuwlamel (schematisch)

opdrachten

- 11
- Ook bij de gaswisseling van insecten en vissen is de wet van Fick van toepassing.
Beantwoord de vragen voor zowel insecten als vissen.

	Insecten	Vissen
a	Waardoor is het gaswisselingsoppervlak groot?	
b	Hoe vindt de verversing van lucht in het ademhalingsorgaan plaats?	
c	Waardoor is de diffusieafstand klein?	
d	Waardoor is het concentratieverschil groot? Geef voor vissen twee antwoorden.	

Afb. 19 Gaswisseling bij de mens (schematisch).



- 12
- In afbeelding 19 zie je een schematische weergave van de gaswisseling bij de mens. De witte cirkel stelt de cellen voor.

a

Wat stellen de volgende onderdelen voor: de grote cirkel aan de buitenkant, de instulping en de rode lijnen?

b

De grote cirkel aan de buitenkant is dik getekend. Wat is de reden hiervoor?

c

Maak twee vergelijkbare tekeningen van de gaswisseling bij insecten en de gaswisseling bij vissen en schrijf er een korte toelichting bij.

13

Het effect van het tegenstroomprincipe kun je nagaan door twee modellen met elkaar te vergelijken. In afbeelding 20.1 stroomt het bloed in het bloedvat in dezelfde richting als het water; in afbeelding 20.2 in tegengestelde richting. De zuurstofconcentratie is op enkele plaatsen in ‰ (promille) weergegeven; de pijltjes tussen de getallen geven de richting aan waarin zuurstof diffundeert. (De modellen zijn theoretisch; ze gaan ervan uit dat het bloed geen hemoglobine bevat.)

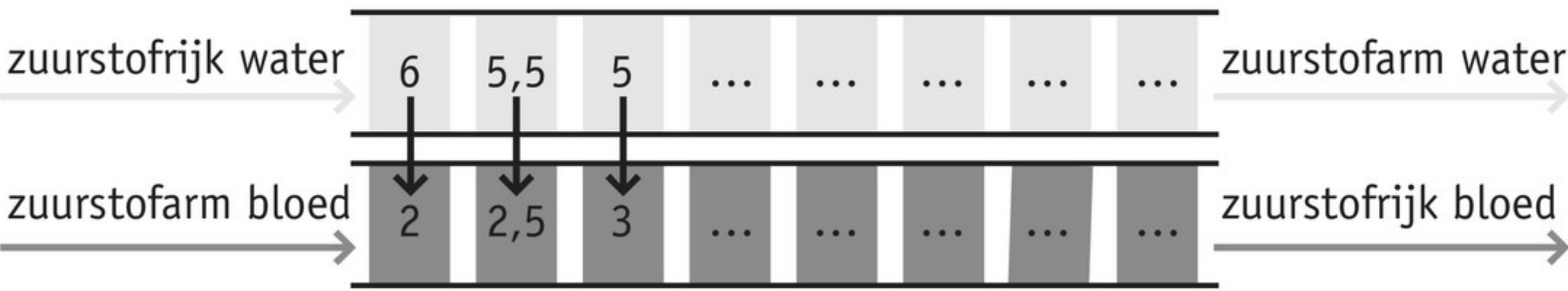
a

Vul op de opengebleven plaatsen de zuurstofconcentratie in van het water en van het bloed. Geef met pijltjes aan waar netto diffusie van O₂ plaatsvindt.

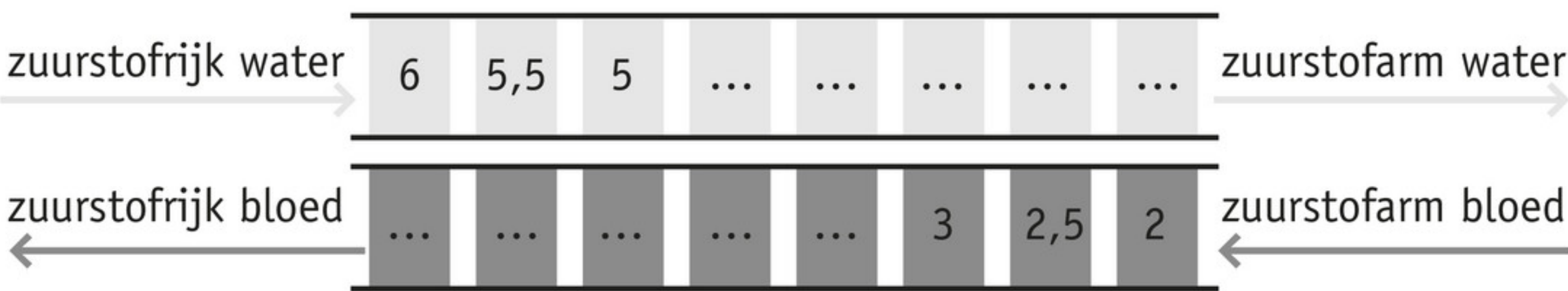
b

Vergelijk beide modellen.
In welk model vindt de meeste zuurstofopname plaats?

Afb. 20



1 meestroomprincipe



2 tegenstroomprincipe

CONTEXT

Leefwereld

Van kwaad tot erger

COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) is een chronische longziekte. Er zijn twee vormen van COPD: chronische bronchitis en longemfyseem. Bij mensen met COPD gaat ademen moeilijker en kosten dagelijkse activiteiten veel energie. Van de 400 000 mensen in Nederland die COPD hebben, sterven er jaarlijks zo'n 8000 als gevolg van de ziekte.

Veel mensen met COPD krijgen inhalatiemedicijnen: puffers (zie afbeelding 21). De meeste patiënten krijgen in de beginperiode van de ziekte luchtwegverwijders. Het merendeel van de patiënten krijgt ook inhalatiecorticosteroïden:

ontstekingsremmers.

En daar ligt vooral het probleem, zegt longarts en onderzoeker Franssen:

‘Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt dat die inhalatiecorticosteroïden heel belangrijk zijn voor mensen met astma, een ziekte die ontstaat door de overgevoeligheid van de bronchiënwand voor bepaalde prikkels. Bij COPD ligt het anders. Alleen in ernstige gevallen hebben die medicijnen nut. Maar in de dagelijkse praktijk krijgen óók patiënten met een milde tot matige COPD een onderhoudsbehandeling met inhalatiecorticosteroïden, met als mogelijk gevolg een dunnere huid, kwetsbaardere bloedvaten, botontkalking, schimmelinfecties in de mond en keel, en een hoger risico op longontsteking.’ Franssen draait er niet omheen: de bijwerkingen van inhalatiemedicijnen tegen COPD zijn niet mis. Bron: *de Volkskrant*, 5 maart 2016.

▼ **Afb. 21** Verschillende soorten puffers.



opdracht

- 14 Bij het beantwoorden van de vragen kun je gebruikmaken van informatie op internet, bijvoorbeeld van het Longfonds.
 - a Beschrijf voor beide vormen van COPD wat er aan de hand is met het ademhalingsstelsel.
 - b Mensen met COPD hebben verschillende klachten (symptomen). Hoe kun je de symptomen van COPD verklaren? Leg uit wat het verband is tussen de ziekte en de symptomen.
 - c Bijna altijd is roken de oorzaak van COPD. Noem minstens drie andere oorzaken.
 - d Bij welke van de twee vormen van COPD (vraag a) zouden inhalatiecorticosteroïden nuttig kunnen zijn? Leg je antwoord uit.
 - e Een groot probleem is volgens longarts Franssen dat bijna alle studies naar inhalatiemedicatie worden gesponsord door de farmaceutische industrie. Onafhankelijk onderzoek is er bijna niet. Waarom zou de arts dit een probleem vinden?

Leerdoelen

- Je kunt uitleggen op welke wijze longventilatie tot stand komt.
- Je kunt beschrijven hoe het longvolume verandert tijdens ventilatiebewegingen.
- Je kunt beschrijven hoe de ademfrequentie wordt geregeld.

2 Longventilatie

Wanneer een diepzeeduiker na een lang verblijf onder water snel opstijgt, kan de caissonziekte optreden. Hierbij ontstaan stikstofbellen in weefsels en bloedvaten die afsluitingen veroorzaken. De duiker krijgt last van hoofdpijn, duizeligheid, spierpijn en verlammingen en kan zelfs overlijden.

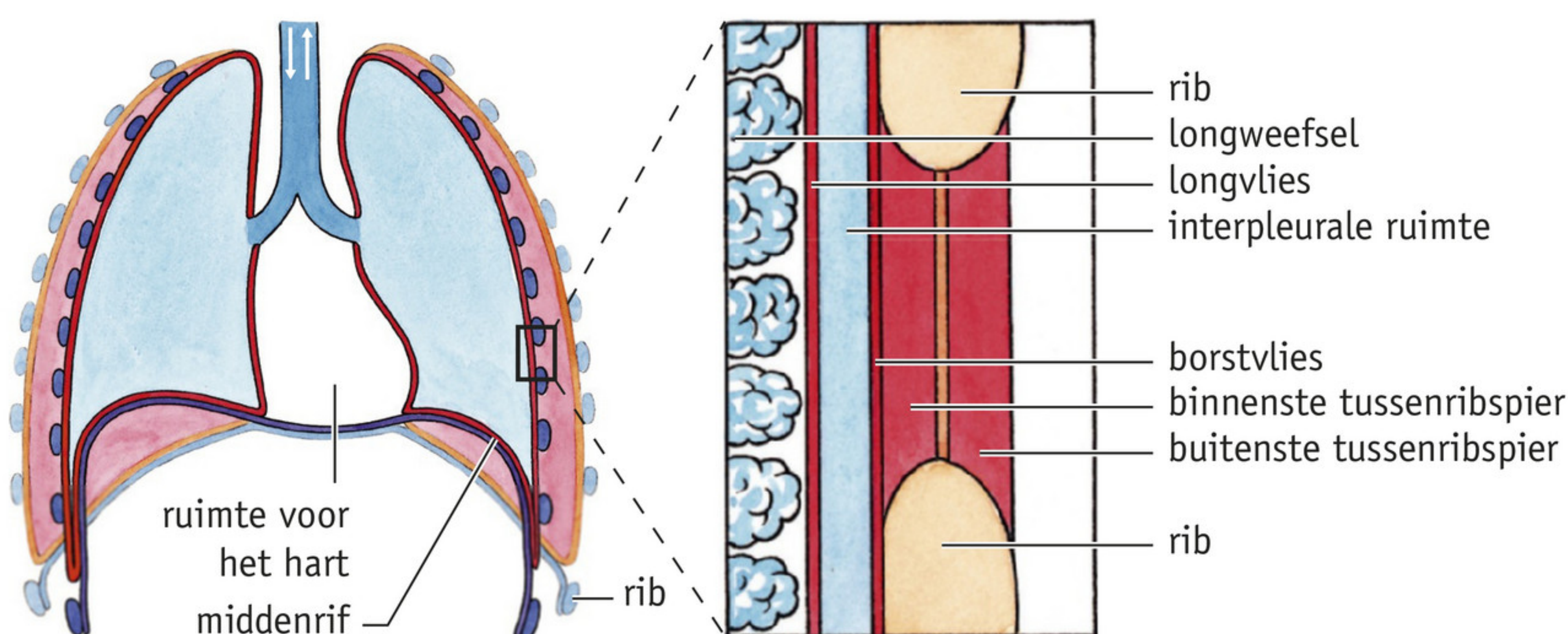
DE BORSTHOLTE

Om de pO_2 en pCO_2 constant te houden moet de lucht in de longen voortdurend worden verversd. Je noemt dit **longventilatie**. De longen liggen in de borstholte. De borstholte is aan de onderkant begrensd door het middenrif. Het middenrif is een koepelvormige, gespierde plaat. De zijwanden van de borstholte worden gevormd door de ribben en de binnenste en buitenste tussenribspieren (zie afbeelding 22). Elke long is omgeven door twee vliezen (pleura). Het **longvlies** ligt tegen de longen aan en is ermee vergroeid. Het **borstvlies** is vergroeid met de ribben, de binnenste tussenribspieren en het middenrif.

In de **interpleurale ruimte**, de ruimte tussen longvlies en borstvlies, zit alleen een dunne laag vloeistof en geen lucht. Door het dunne laagje vloeistof in de interpleurale ruimte kunnen longvlies en borstvlies niet van elkaar af gaan, maar wel ten opzichte van elkaar schuiven. Hierdoor wordt voorkomen dat ruwe, plotselinge bewegingen van het bovenlichaam leiden tot scheurtjes in het tere longweefsel.

Het longweefsel is elastisch en verkeert in een 'uitgerekte' toestand. Hierdoor heerst er in de ruimte tussen longvlies en borstvlies een druk die lager is dan de druk van de buitenlucht.

▼ **Afb. 22** Doorsnede van de borstholte met longen (schematisch).

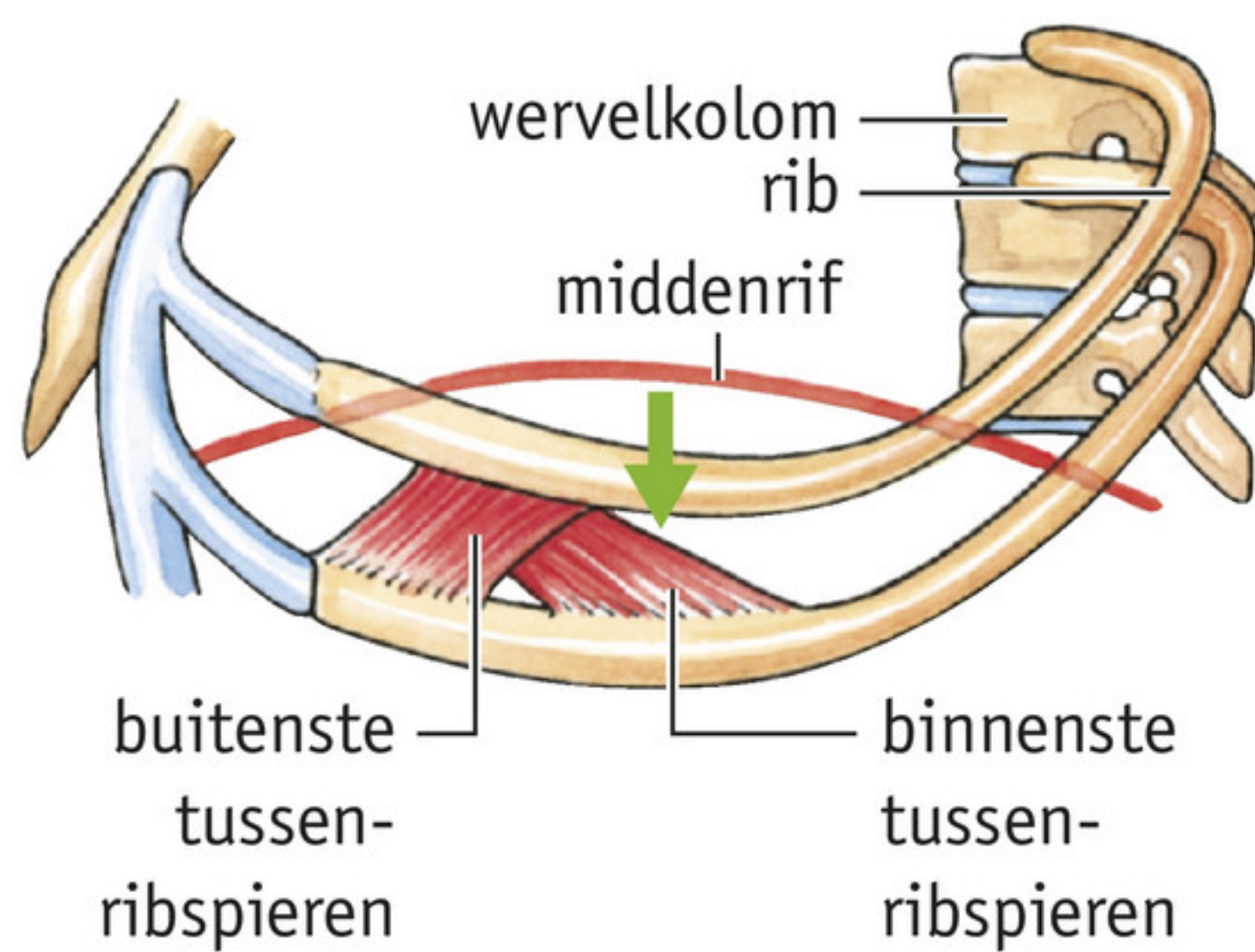
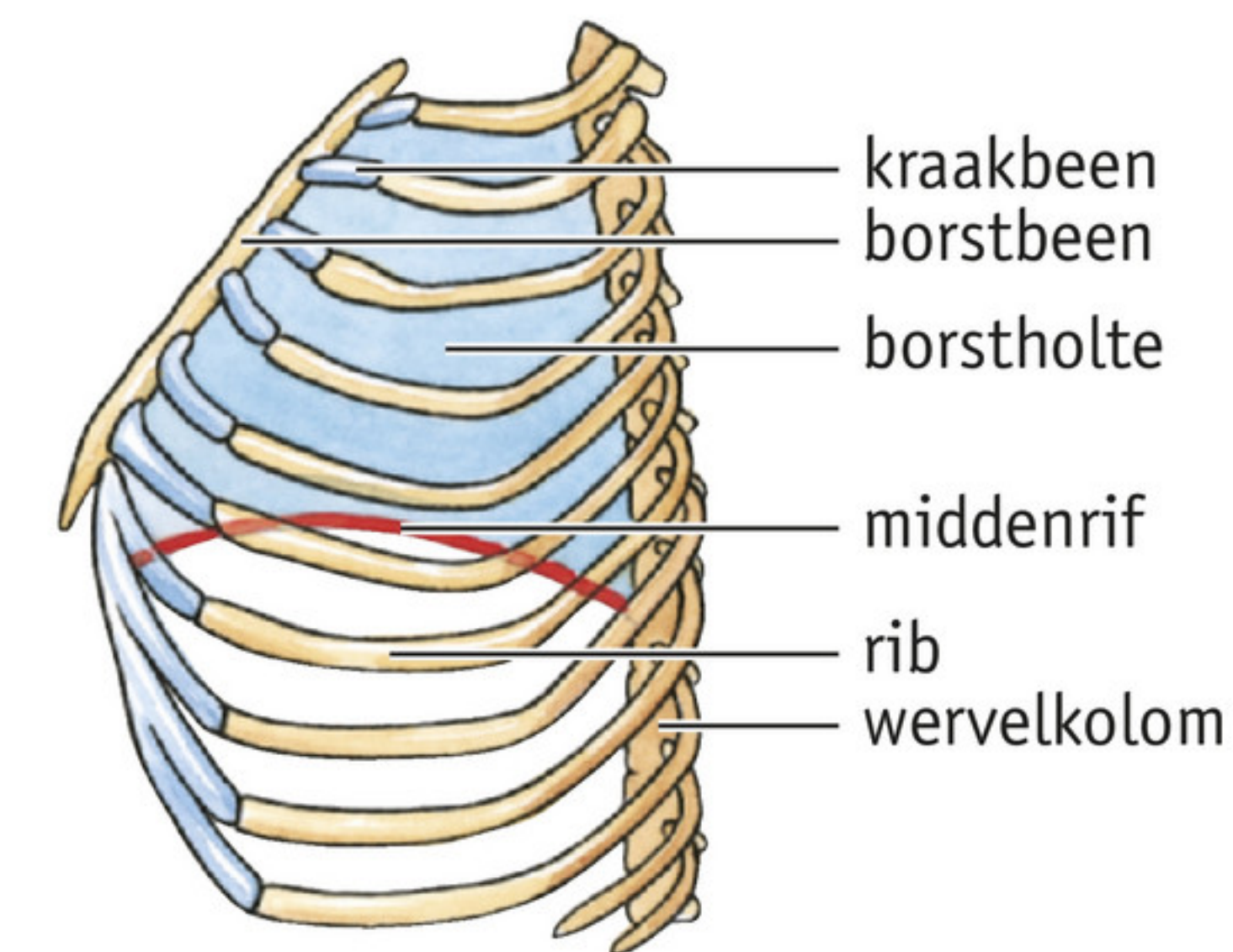


RUSTIG IN- EN UITADEMEN

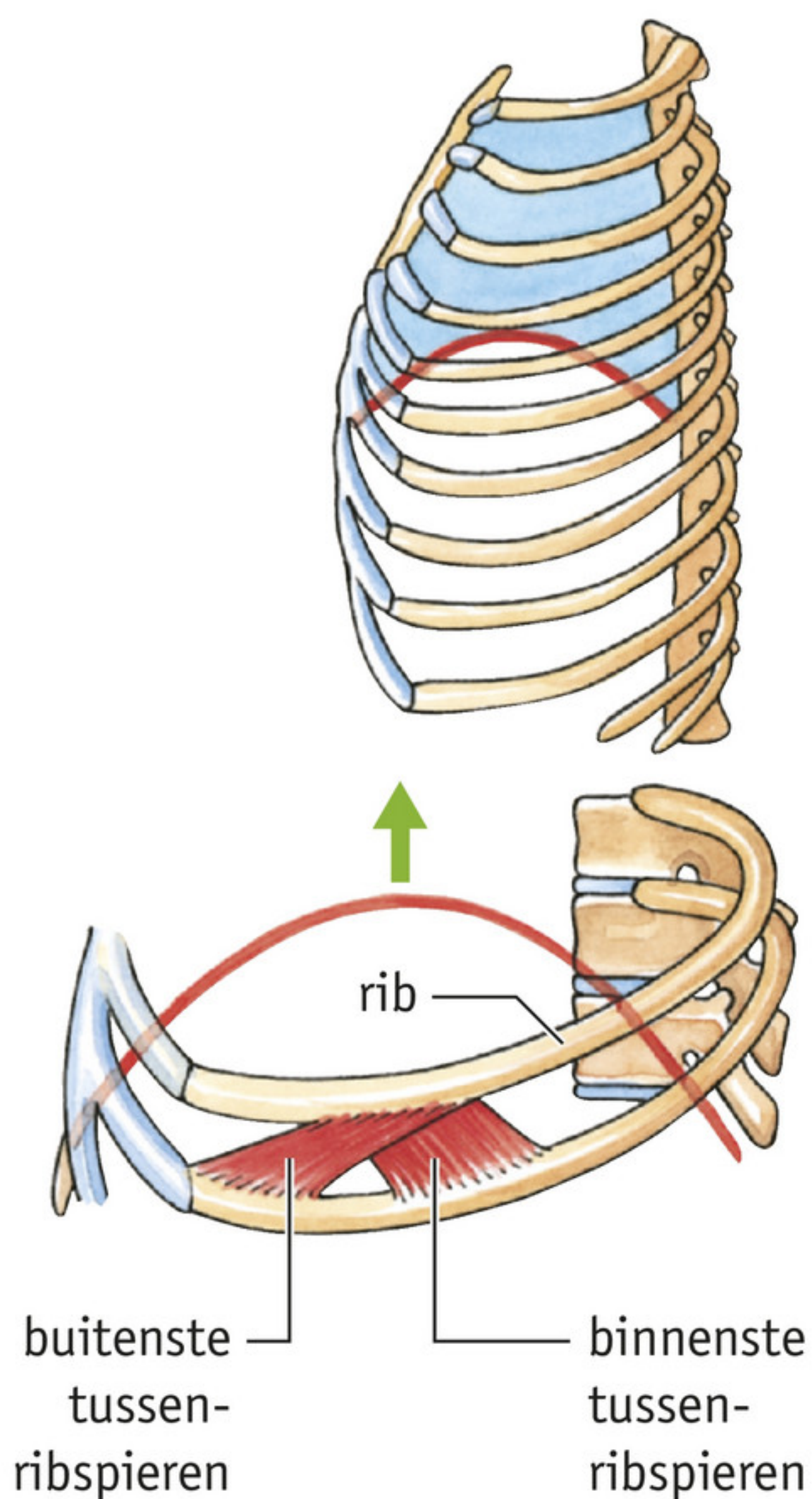
In- en uitademingen komen tot stand door bewegingen van ribben, borstbeen en middenrif. Bij **ribademhaling** (of **borstademhaling**) bewegen de ribben en het borstbeen. Bij **middenrifademhaling** (of **buikademhaling**) beweegt het middenrif. Als je normaal ademhaalt, vinden de ventilatiebewegingen van ribademhaling en middenrifademhaling tegelijkertijd plaats.

Een rustige inademing komt tot stand doordat de buitenste tussenribspieren de ribben en het borstbeen omhoog en naar voren trekken. Tegelijkertijd platten de middenrifspieren het middenrif af (zie afbeelding 23.1). Hierdoor worden de organen in de buikholte weggedrukt en komt de buikwand iets naar voren. Deze bewegingen van ribben, borstbeen en middenrif veroorzaken een volumevergroting

▼ **Afb. 23** Zijaanzicht van de borstholte (schematisch).



1 inademingsstand



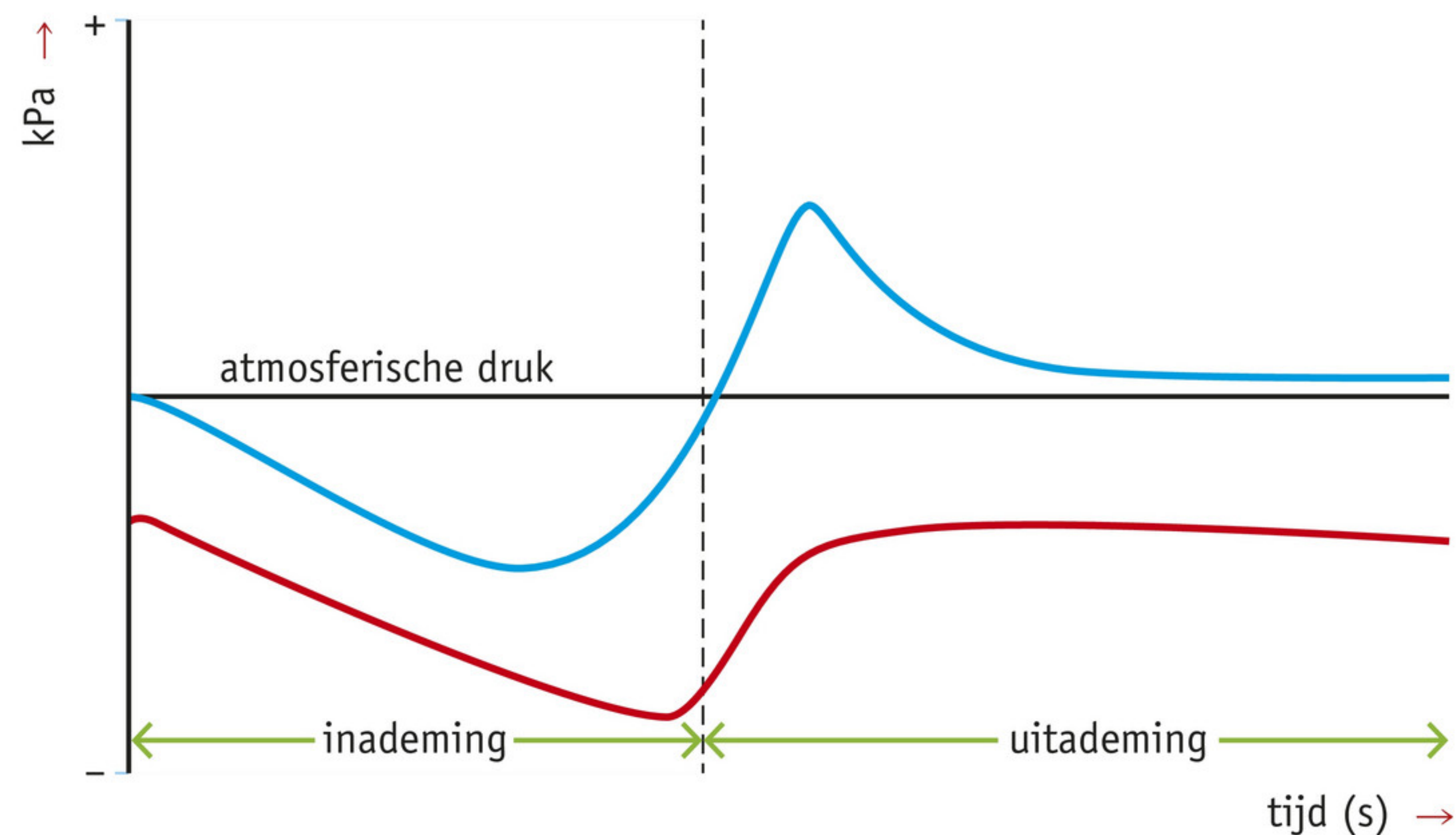
2 uitademingsstand

van de borstholte. Hierdoor nemen ook de longen in volume toe. Tijdens deze volumevergroting is de luchtdruk in de longen lager dan de druk van de buitenlucht. Het gevolg is dat lucht van buiten de longen in wordt gezogen. Een rustige uitademing komt passief tot stand. De spieren die een inademing hebben veroorzaakt, ontspannen zich. De veerkracht van de zijwanden van de borstholte en de elasticiteit van het longweefsel zorgen ervoor dat de ribben en het borstbeen terugkeren in hun oorspronkelijke stand. Door de elasticiteit van de buikwand en de druk in de buikholte wordt het middenrif teruggeduwd in zijn koepelvormige stand (zie afbeelding 23.2). Daardoor wordt het volume van de borstholte en de longen kleiner. Tijdens deze volumeverkleining is de luchtdruk in de longen hoger dan de druk van de buitenlucht. Hierdoor stroomt er lucht naar buiten.

DIEP IN- EN UITADEMEN

Bij een diepe inademing kunnen spieren in de hals zich samentrekken. Hierdoor gaan de ribben en het borstbeen nog verder omhoog en naar voren. Bij een diepe uitademing (bijvoorbeeld bij hoesten) kunnen de binnenste tussenribspieren zich samentrekken, waardoor de borstkas veel kleiner wordt gemaakt. Bovendien kunnen spieren in de buikwand zich samentrekken. Door de verhoogde druk in de buikholte wordt het middenrif omhooggeduwd. In afbeelding 24 is het verloop van de luchtdruk in de longblaasjes en de interpleurale ruimte schematisch weergegeven

▼ **Afb. 24** Verloop van de luchtdruk in de longblaasjes en de interpleurale ruimte tussen borstvlies en longvlies.



Legenda:

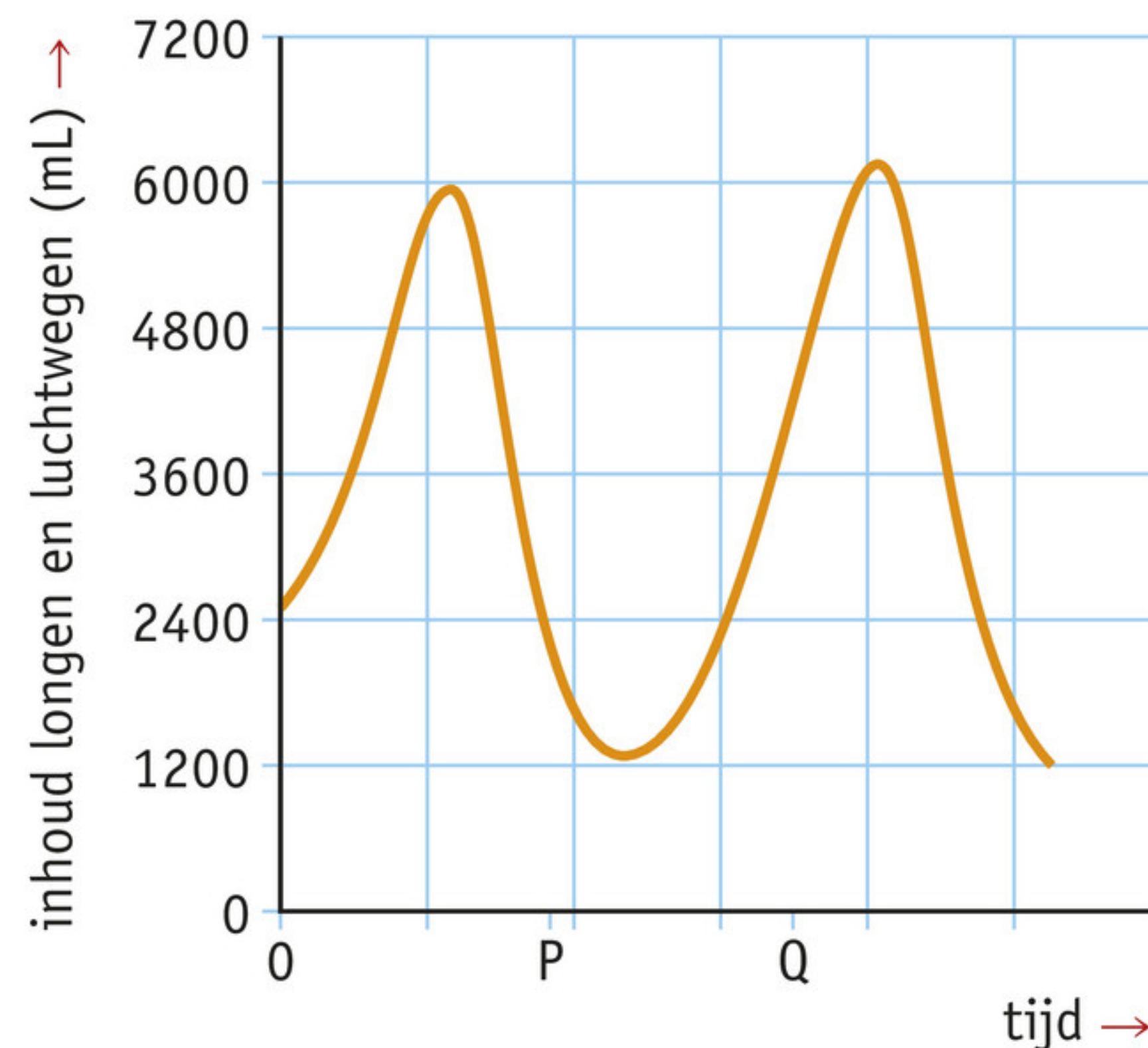
- druk in de longblaasjes
- druk in de interpleurale ruimten

opdrachten

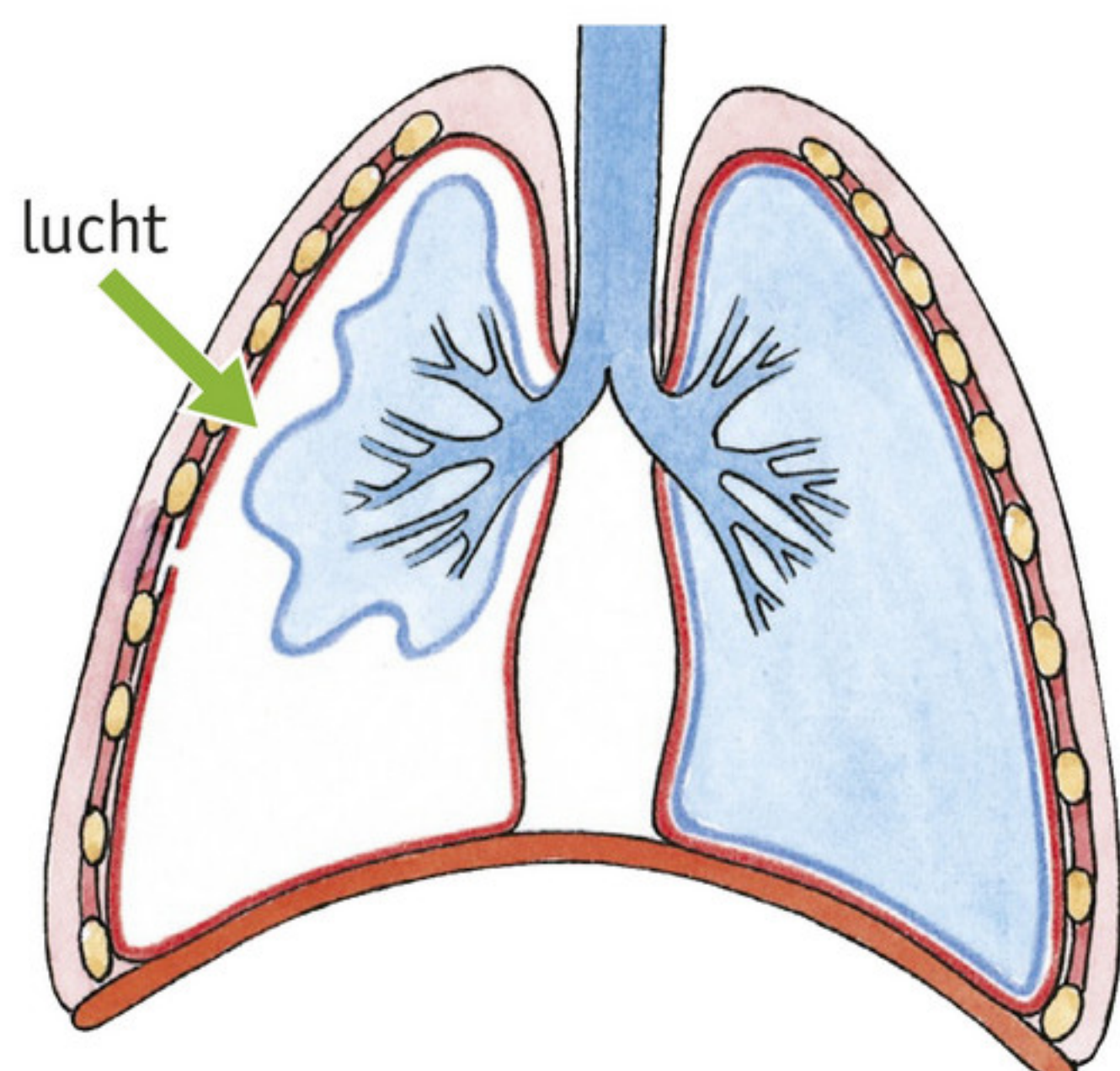
- 15 Bij een diepe inademing zijn meerdere spieren betrokken.
- Welke spieren trekken zich samen bij een diepe inademing?
 - Vrouwen die hoogzwanger zijn kunnen niet diep inademen. Leg dat uit.

- 16 Het longvolume van een rustig ademende persoon wordt gedurende enige tijd gemeten. In afbeelding 25 zijn de resultaten van deze metingen uitgezet.
- Trekken zich op tijdstip P spieren samen? Leg je antwoord uit.
 - Is de $p\text{CO}_2$ in de luchtpijp op tijdstip P hoger of lager dan op tijdstip Q? Leg je antwoord uit.

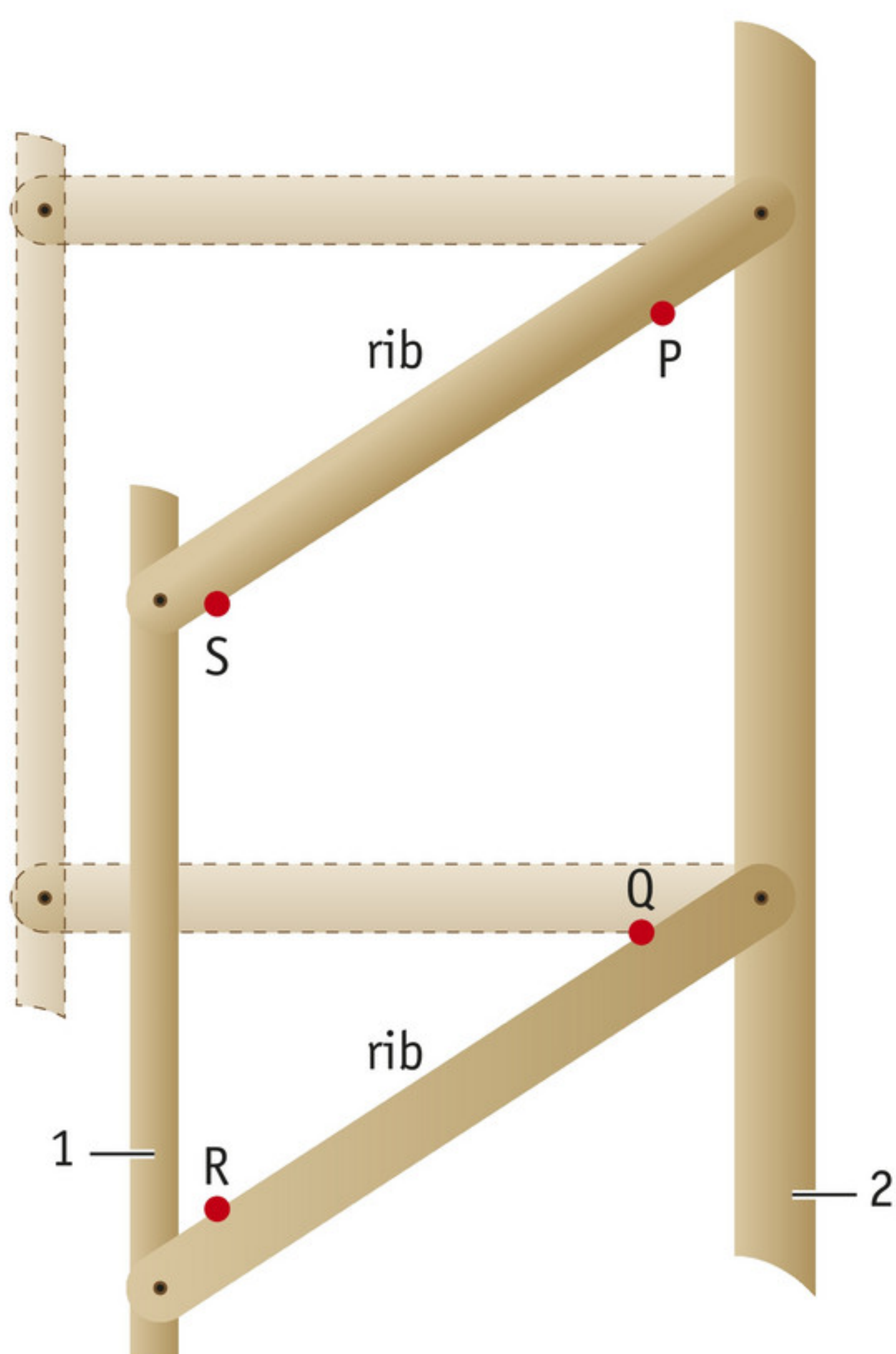
► Afb. 25



▼ Afb. 26 Een klaplong.

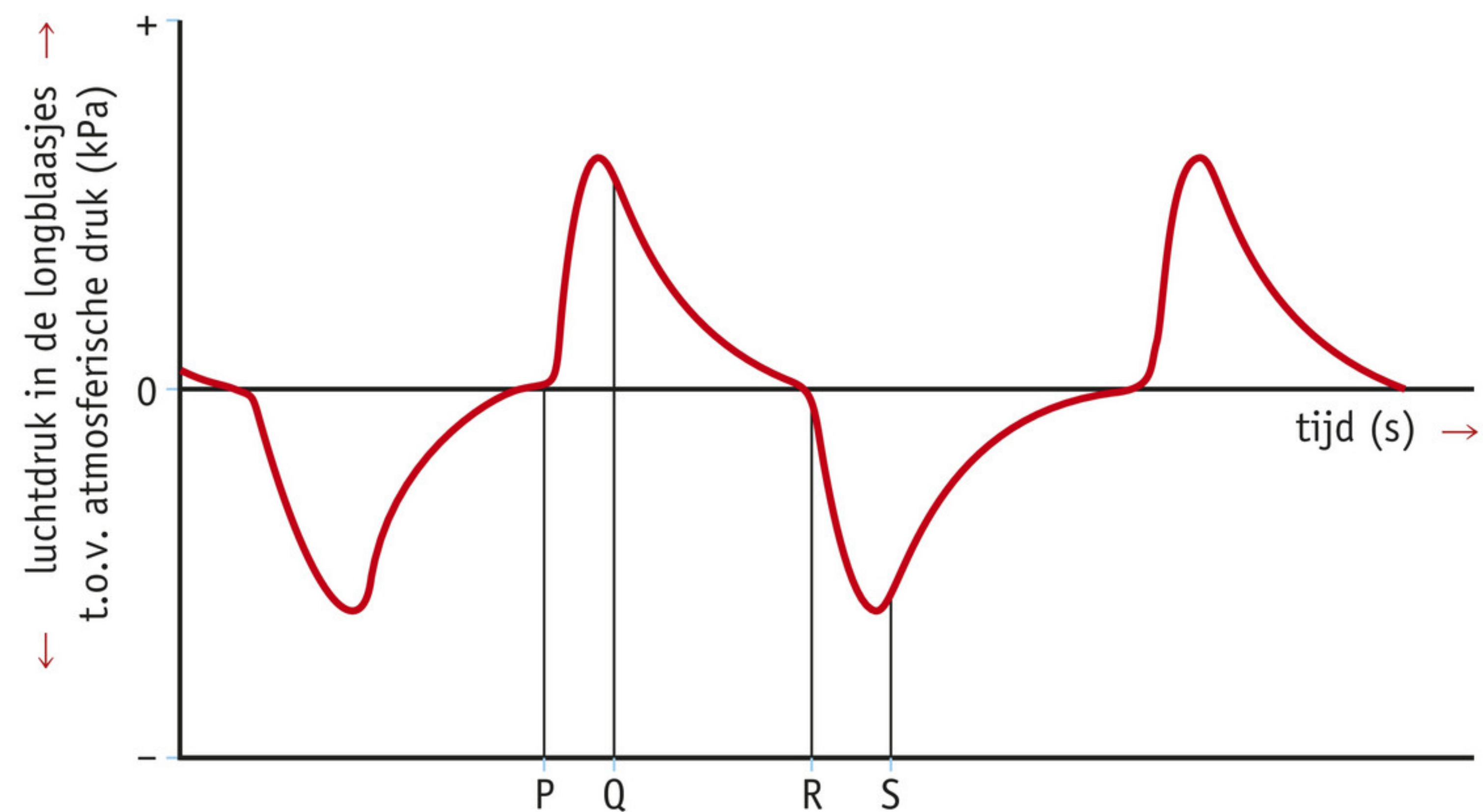


▼ Afb. 27 Een model van ventilatiebewegingen.



- 17 Als bij een long een scheurtje in het borstvlies ontstaat, kan er lucht komen tussen het borstvlies en het longvlies. Je spreekt dan van een klaplong (zie afbeelding 26).
- Wat zal het gevolg zijn van een klaplong bij een inademing?
 - Waardoor klappt een long in als er lucht komt tussen borstvlies en longvlies?
 - Als iemand een klaplong heeft, kijkt de arts met een röntgenfoto of er geen ribben gebroken zijn.
Wat is de relatie tussen een ribbreuk en een klaplong?
- 18 In afbeelding 27 is een model getekend waarmee de ventilatiebewegingen van ribben en borstbeen kunnen worden nagebootst. Punt P, Q, R en S stellen aanhechtingsplaatsen van tussenribspieren voor.
- Benoem onderdeel 1 en 2.
 - Tussen welke aanhechtingsplaatsen bevindt zich een tussenribspier die bij samentrekking een inademing veroorzaakt?
 - Tussen welke aanhechtingsplaatsen bevindt zich een tussenribspier die bij samentrekking een uitademing veroorzaakt?
 - Wanneer trekt de tussenribspier tussen S en Q samen: bij een rustige uitademing, bij een diepe uitademing of bij beide?
- 19 In afbeelding 28 is in een diagram het verloop van de luchtdruk in de longblaasjes weergegeven gedurende enkele opeenvolgende ventilatiebewegingen. Vier momenten zijn met letters aangegeven.
- Welk moment geeft het begin van een inademing weer? En welk moment geeft het begin van een uitademing weer? Leg je antwoorden uit.
 - Daalt of stijgt de druk in de interpleurale ruimte bij het begin van een inademing? En bij het begin van een uitademing?
 - Op welk moment is de druk in de interpleurale ruimte het laagst?
 - Op welk moment stroomt per tijdseenheid de meeste lucht de longen in? Leg uit waardoor dat komt.
 - Op welk moment is de zuurstofconcentratie van de lucht in de luchtpijp het hoogst?

► Afb. 28



ADEM VOLUME

Een volwassen persoon die rustig ademhaalt, ademt per ademhaling ongeveer 0,5 L lucht in en uit. Je noemt deze hoeveelheid het **ademvolume**. Niet al deze lucht bereikt de longblaasjes. Ongeveer 150 mL lucht komt niet verder dan de bronchiën, luchtpijp, keel- of neusholte (**dode ruimte**) en doet dus niet mee aan de gaswisseling bij de longblaasjes. Deze lucht wordt bij de volgende uitademing ‘ongebruikt’ weer uitgeademd. Doordat deze lucht zich mengt met uitgeademde lucht uit de longblaasjes, ontstaan verschillen in samenstelling tussen uitgeademde lucht en lucht in de longblaasjes (zie afbeelding 5).

Bij een maximale inademing kan gemiddeld 2,5 L lucht extra worden ingeademd. Je noemt deze hoeveelheid het **inspiratoir reservevolume** (inspiratie = inademing). Bij een maximale uitademing kan gemiddeld 1,5 L lucht extra worden uitgeademd. Je noemt dit het **expiratoir reservevolume** (expiratie = uitademing). Er blijft dan gemiddeld nog 1,5 L lucht in de longen achter. Deze lucht heet het **restvolume**. Dat restvolume kan wel iets kleiner worden, maar er blijft in alle gevallen lucht achter in de longen.

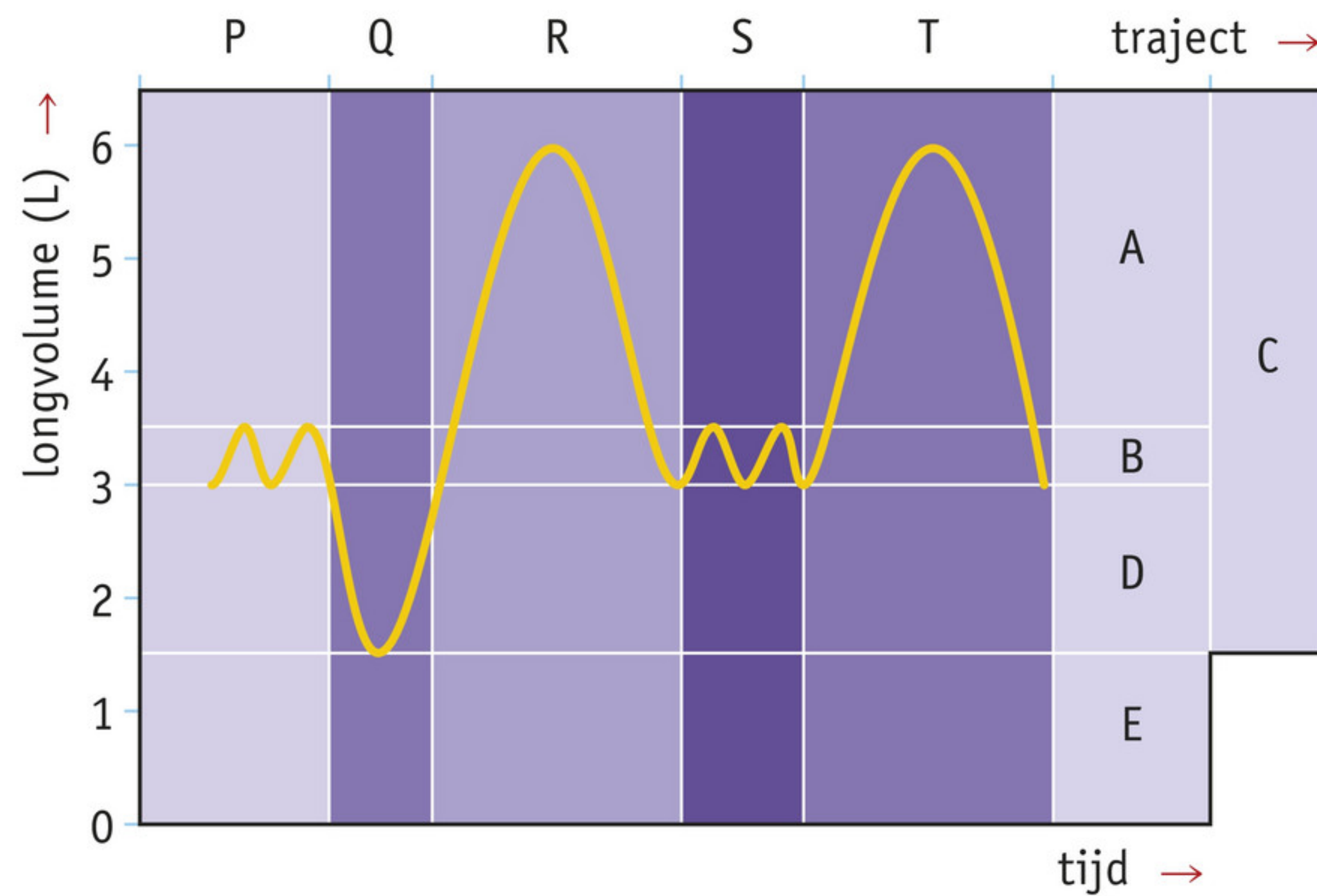
De hoeveelheid lucht die in één ademhaling maximaal kan worden verplaatst, heet de **vitale capaciteit**. Het totale **longvolume** (**longcapaciteit**) is de vitale capaciteit en het restvolume samen.

► PRACTICUMOPDRACHT 2 EN 3

opdrachten

- 20** In afbeelding 29 is het gemiddelde longvolume bij verschillende diepten van ademhaling in een diagram weergegeven.
- In het diagram zijn de trajecten P, Q, R, S en T aangegeven. Noteer wat voor ademhaling in elk van de trajecten is weergegeven.
 - In welk traject hebben de binnenste tussenribspieren bijgedragen aan de ademhalingsbeweging?
 - In het diagram zijn de vakjes A, B, C, D en E aangegeven. Noteer wat elk van deze vakjes weergeeft.
 - Hoe groot is gemiddeld de totale longcapaciteit?
 - En hoe groot is gemiddeld het minimale longvolume?
 - Leg uit dat het functioneel is dat je vitale capaciteit niet even groot kan worden als je totale longvolume.

► Afb. 29



- 21 Als droge buitenlucht wordt ingeademd, wordt deze altijd verzadigd met waterdamp.
- a Drie delen van het ademhalingsstelsel zijn de neusholte, de mondholte en de luchtpijp.
In welke van deze delen neemt de lucht waterdamp op?
- b De gemiddelde samenstelling van de uitgeademde lucht verschilt vrij sterk van die in de longblaasjes.
Geef de twee belangrijkste verschillen in samenstelling en de oorzaak van beide verschillen.
- 22 Afbeelding 30 geeft het verloop van de $p\text{CO}_2$ (diagram 1) en $p\text{O}_2$ (diagram 2) in de luchtstroom van het begin tot het einde van één uitademing weer.
- a Waardoor bevat de eerste 100 mL uitgeademde lucht minder CO_2 dan de laatste 100 mL uitgeademde lucht?
- b De $p\text{CO}_2$ wordt bepaald in een longslagadertje voordat er netto CO_2 -afgifte aan de alveolaire lucht heeft plaatsgevonden.
Is deze $p\text{CO}_2$ lager dan 2,6 kPa, ligt deze tussen 2,6 kPa en 5,3 kPa of is deze hoger dan 5,3 kPa? Leg je antwoord uit.
- c In diagram 2 zijn drie delen van het uitademingstraject aangegeven met letters.
Welk van de delen R, S of T heeft betrekking op de $p\text{O}_2$ in een mengsel van lucht in de longblaasjes met lucht uit de dode ruimte? Leg je antwoord uit.

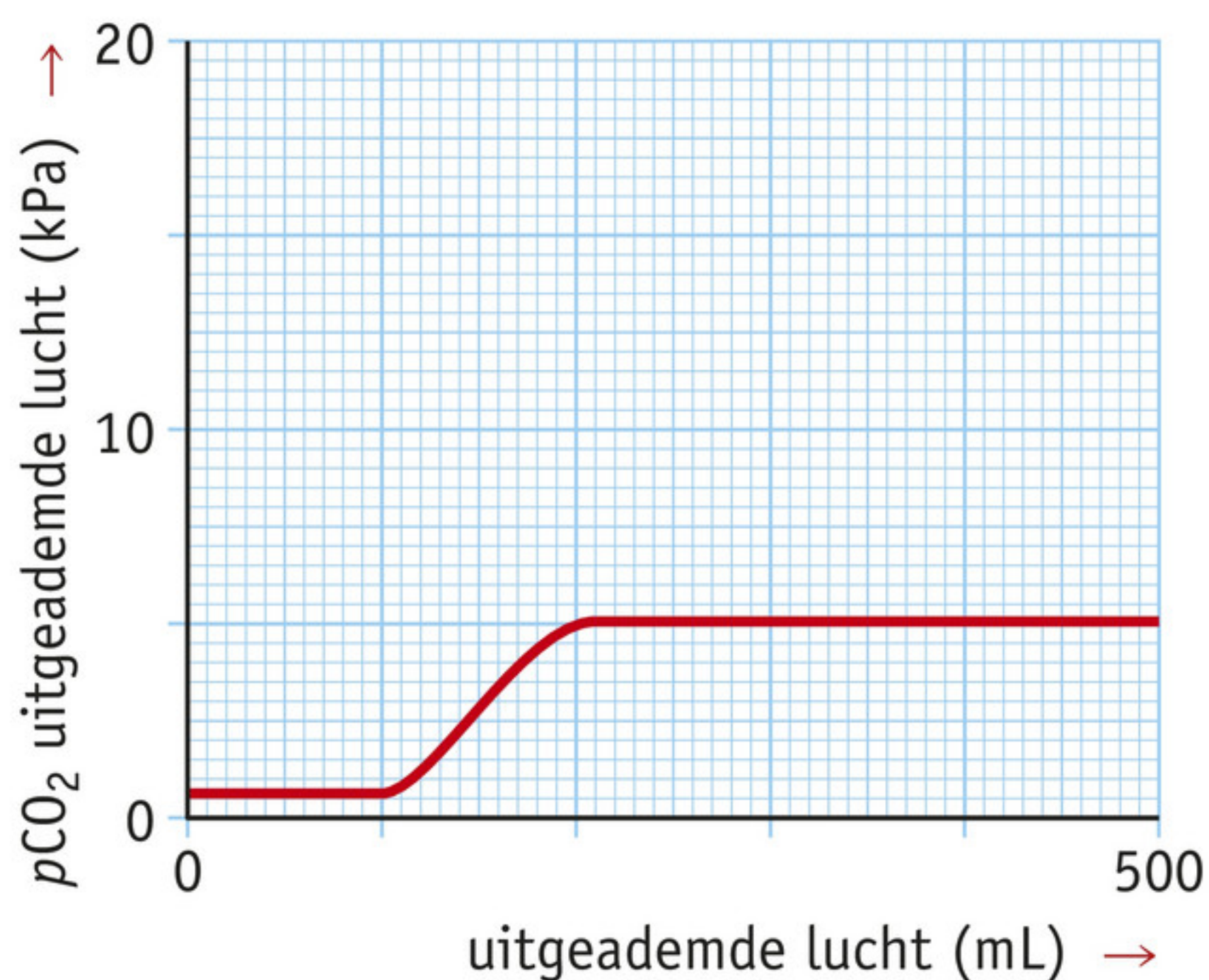
▼ Afb. 30 $p\text{CO}_2$ en $p\text{O}_2$ bij uitademing.

diagram 1

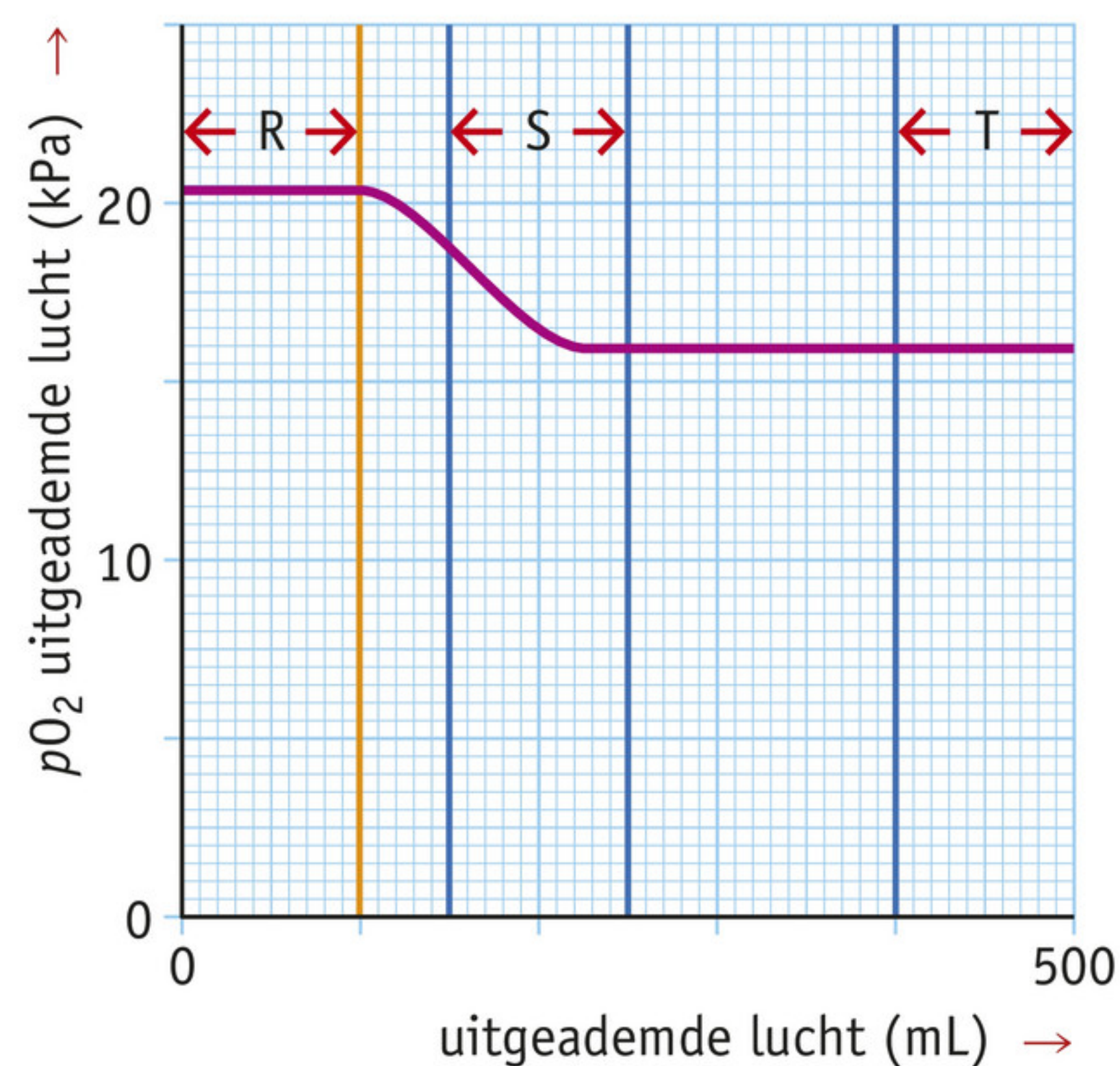
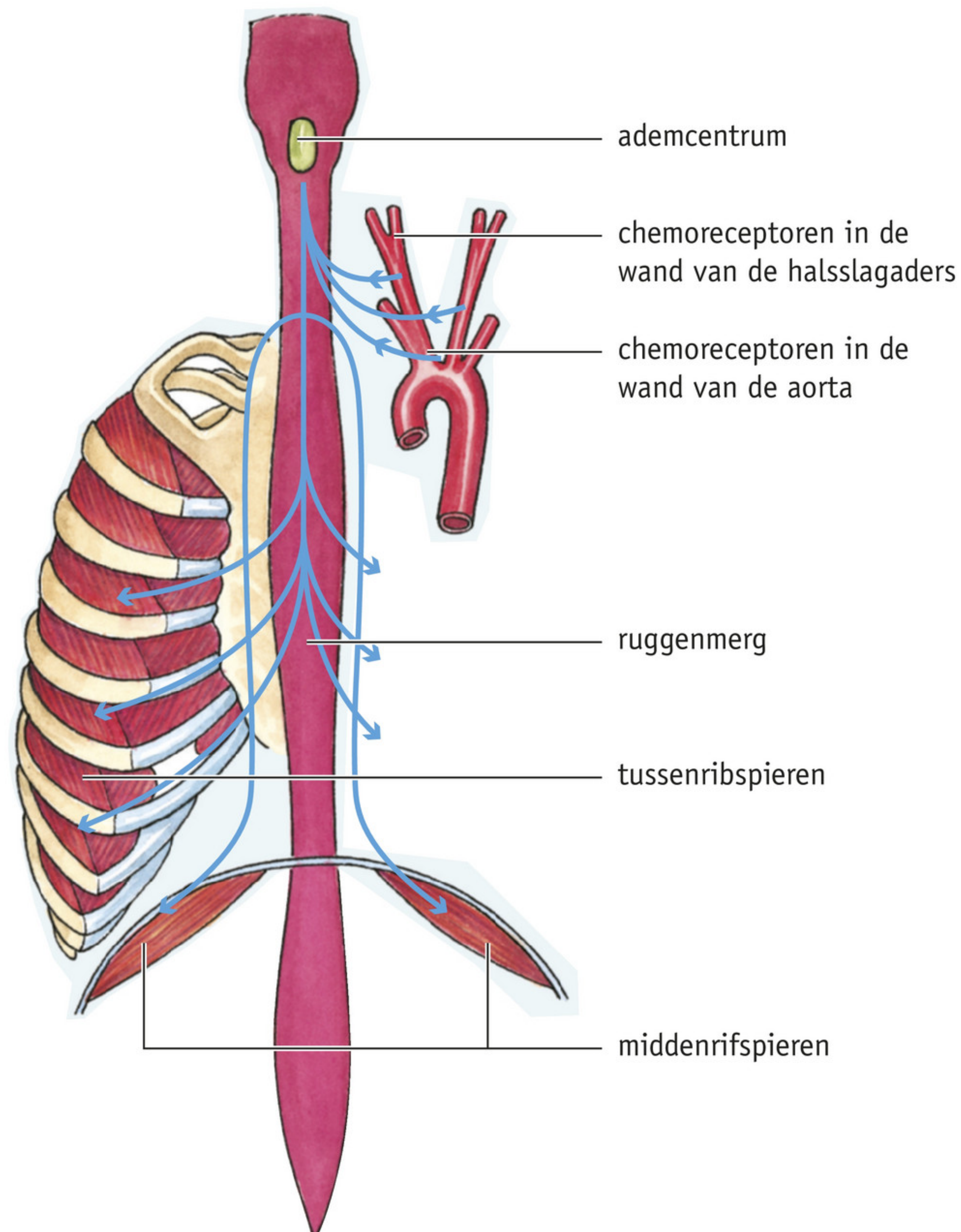


diagram 2

REGELING VAN DE ADEMFREQUENTIE

De diepte en de snelheid waarmee je ademhaalt, worden aangepast aan de omstandigheden. Dit wordt geregeld vanuit het **ademcentrum** in de hersenstam. Het ademcentrum regelt de activiteit van de ademhalingsspieren. In de hersenstam, de wand van de halsslagaders en de aorta liggen zintuigcellen waarmee de koolstofdioxideconcentratie van het bloed wordt waargenomen. Deze zintuigcellen zijn chemoreceptoren. Bij sterke lichamelijke inspanning stijgt de $p\text{CO}_2$ van het bloed. Vanuit de chemoreceptoren gaan impulsen via zenuwen naar het ademcentrum (zie afbeelding 31).

► **Afb. 31** Regeling van de ventilatie.



Vandaaruit gaan impulsen via zenuwen naar de ademhalingsspieren. De ademhalingsspieren trekken zich dan sneller en krachtiger samen. De hoeveelheid geventileerde lucht kan daardoor wel 20× zo groot worden als in een toestand van lichamelijke ontspanning.

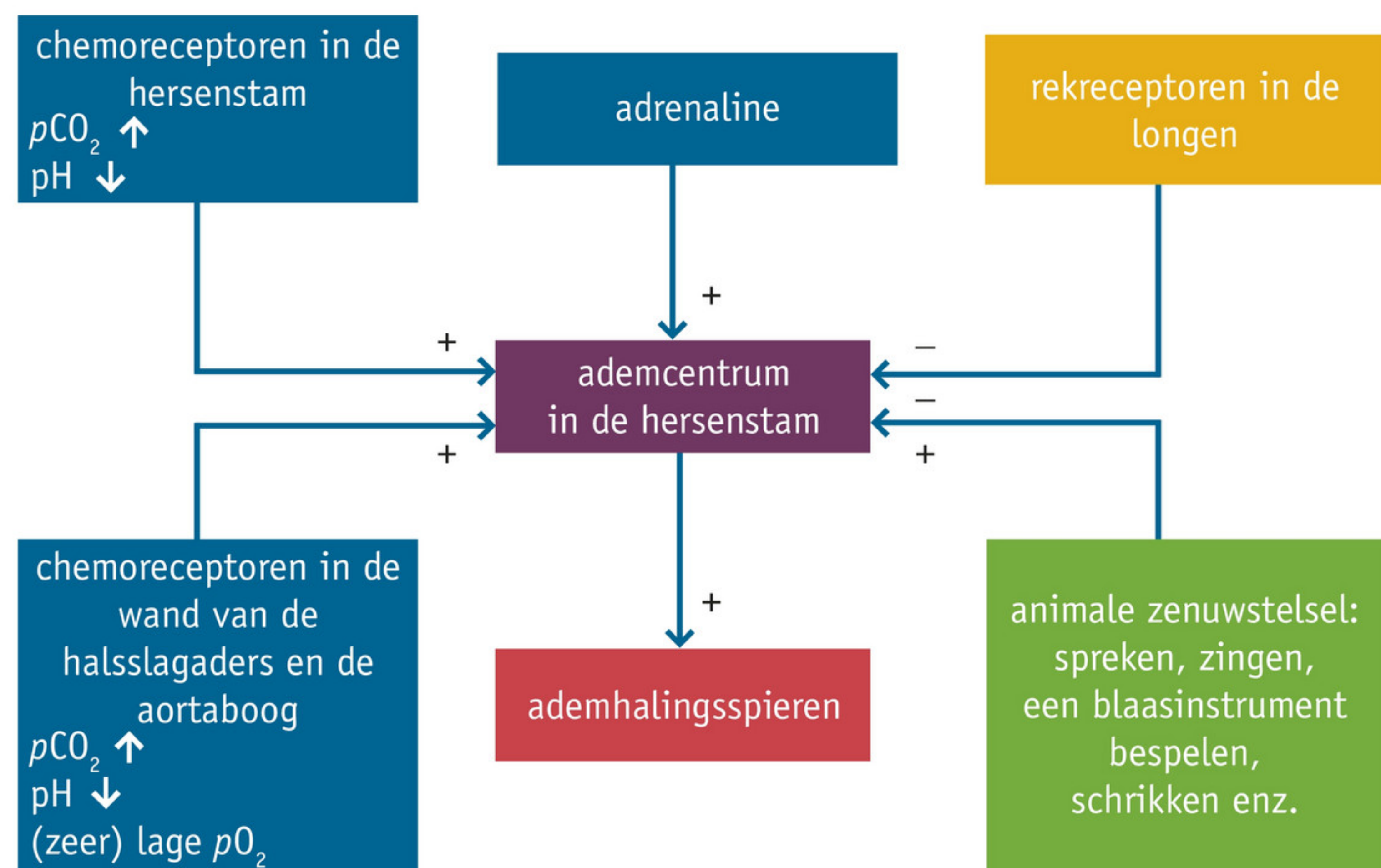
De zuurstofconcentratie van het bloed beïnvloedt ook indirect de chemoreceptoren. Dit is onder andere het geval wanneer je op grote hoogte verblijft. Door de lagere luchtdruk wordt op grote hoogte minder snel zuurstof in het bloed opgenomen dan op zeeniveau. Een lage $p\text{O}_2$ van het bloed maakt de chemoreceptoren gevoeliger voor de $p\text{CO}_2$ van het bloed. Daardoor haal je op grote hoogte sneller en dieper adem dan op zeeniveau, ook al is de $p\text{CO}_2$ van je bloed gelijk. Ook wordt bij een geringe stijging van de $p\text{CO}_2$ van het bloed op grote hoogte de ademfrequentie meer versneld dan op zeeniveau.

In het longweefsel bevinden zich receptoren waarmee de rektoestand van de longen wordt waargenomen. Tijdens een inademing worden de longen in toenemende mate gerekt. In **rekreceptoren** in de bronchiën ontstaan dan impulsen die, via het ademcentrum, een remming van de inademing tot gevolg hebben, waardoor deze stopt. Er volgt dan een uitademing.

Behalve deze onbewuste regeling kun je je ademfrequentie ook bewust versnellen of vertragen. Dit regel je vanuit de grote hersenen. Zodra de bewuste beïnvloeding vanuit de grote hersenen stopt, wordt de ademhaling weer onbewust geregeld vanuit het ademcentrum in de hersenstam.

De ademhaling kan reflexmatig worden onderbroken. Dit gebeurt bijvoorbeeld tijdens de slikreflex of wanneer je schrikt en de ademhaling plotseling 'stokt'. In afbeelding 32 is de regeling van de ademhaling schematisch samengevat.

► **Afb. 32** Regeling van de ademhaling (schematisch).



opdrachten

- 23 a** De beïnvloeding van de ademfrequentie door de pO_2 van het bloed wordt een indirecte beïnvloeding genoemd. Leg dat uit.
- b** Adrenaline stimuleert de ademhaling. Leg dit uit aan de hand van de functie van adrenaline.
- c** Onder invloed van prikkeling van rekreceptoren in de longen stopt de inademing, waarna een uitademing volgt. Dit heet de expiratoire reflex. Andere receptoren zorgen voor een inspiratoire reflex. Wanneer zal deze reflex plaatsvinden?
- 24** Mensen die veel koolstofmonoxide (CO) hebben ingeademd, kunnen bewusteloos raken en uiteindelijk overlijden. Iemand die door het inademen van CO bewusteloos is geraakt, wordt beademd met een mengsel van 95% O_2 en 5% CO_2 , maar niet met 100% O_2 .
- a** Welke twee effecten heeft de toevoeging van CO_2 op de regulatie van de ademhaling?
- b** Sommige mensen ademen te snel en te diep als ze angstig, woedend of zenuwachtig zijn. Ze hebben dan last van hyperventilatie. Door de versnelde ademhaling is de koolstofdioxideconcentratie van het bloed lager dan normaal. Dit kan leiden tot een benauwd gevoel of zelfs flauwvallen.

Een aanval van hyperventilatie kan worden tegengegaan door in en uit te ademen in een zakje.

Leg uit dat de ademhaling hierdoor weer normaal wordt.

- c Een duiker kan caissonziekte voorkomen door langzaam uit het water op te stijgen. Leg dat uit.

CONTEXT

Leefwereld

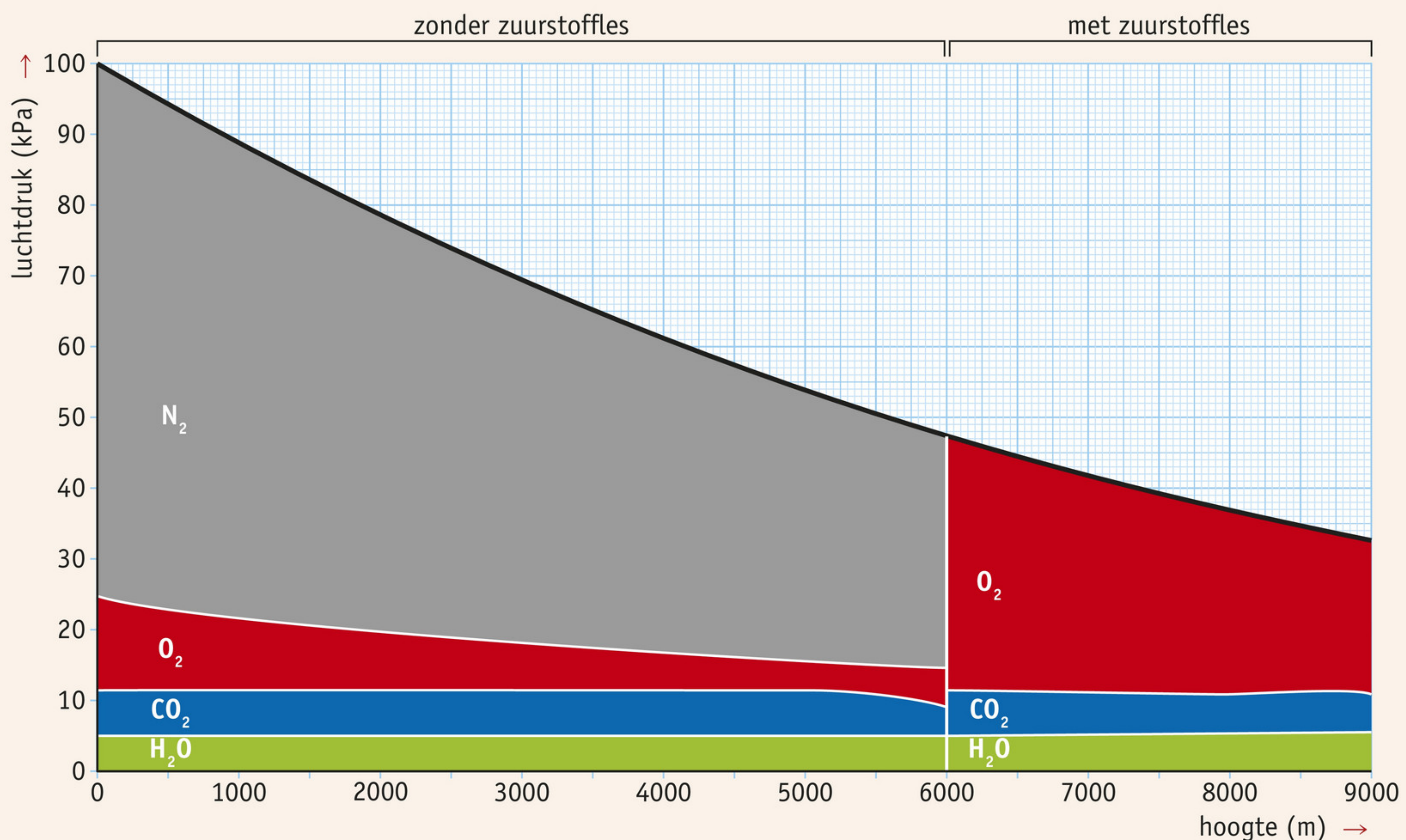
‘Mijn lichaam heeft geen energie meer’

Hij wist zelf dondersgoed dat het bereiken van de top pas het halve werk was. Tijdens de uitputtende afdaling, het hoofd vol euforie vanwege het bereiken van het hoogste punt, kan het ook nog helemaal misgaan. Eric Arnold (35 jaar) overkwam het.

Hoogteziekte kan de best getrainde atleet overkomen. Met een fles zuivere zuurstof en bepaalde medicamenten kunnen de symptomen deels worden bestreden. Eric Arnold had zich goed voorbereid. Na een acclimatisatietoetocht van dagen om aan het zuurstoftekort te wennen, bereikt hij op 20 mei 2016 zuchtend en hijgend de top van 8848 meter. Daar ziet hij wat hij zijn hele leven wilde zien: de Himalaya, vanaf het hoogste punt. Het uitzicht is waanzinnig. Tijdens de afdaling bezweek Eric Arnold.

Bron: *de Volkskrant*.

- ▼ **Afb. 33** De luchtdruk (kPa; zwarte lijn) en de partiële druk van de gassen in de longblaasjes (kPa) op verschillende hoogten.



opdracht

- 25** Bij een verblijf op grote hoogte (tot 5500 m) past het lichaam zich aan de omstandigheden aan.
- a** Welke reactie vindt in het ademhalingsstelsel onmiddellijk plaats onder invloed van chemoreceptoren?
 - b** De rode bloedcellen produceren op grote hoogte meer DPG (diphosphoglyceraat). Deze stof komt in het bloed terecht. Onder invloed van DPG verschuift de pO_2 -verzadigingskromme naar rechts. Wat is het voordeel van een extra hoeveelheid DPG in het bloed?
 - c** In afbeelding 33 is in een diagram de luchtdruk op verschillende hoogten weergegeven. De samenstelling van de alveolaire lucht bij een bergbeklimmer is ook weergegeven. Op 6000 m hoogte is de pO_2 ongeveer 5 kPa. Een lagere pO_2 is dodelijk. Tot 6000 m zit er stikstof in de alveolaire lucht, doordat een bergbeklimmer tot die hoogte de buitenlucht inademt. Daarboven moet hij met een zuurstoffles klimmen en zit er geen stikstof meer in zijn alveolaire lucht. De pH_2O in de alveolaire lucht is op alle hoogten gelijk. Leg dat uit.
 - d** Eric Arnold is niet gestorven door zuurstofgebrek. Leg dit uit.
 - e** Waaraan is Eric Arnold wel gestorven? Leg dit uit en gebruik hierbij het volgende gegeven: 'De bloeddruk op grote hoogte is vrijwel gelijk aan die op zeeniveau'.

Leerdoel

- Je kunt de bouw, werking en functies van de lever beschrijven en je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de lever (homeostase).

3

De lever

Orgaanvlees, zoals kalfslever, staat bij de beste restaurants op de menukaart. Lever bevat veel vitamine A en ijzer. Je kunt het gerust af en toe eten, maar niet te veel. De lever is onder andere een opslagplaats voor gifstoffen.

HOMEOSTASE

De lever ligt rechtsboven in de buikholte tegen het middenrif aan (zie afbeelding 34). Doordat het bloed uit een groot deel van het darmkanaal via de poortader naar de lever stroomt, kan de lever controle uitoefenen op de samenstelling van het bloedplasma. De lever speelt daardoor een belangrijke rol bij homeostase: het in stand houden van een dynamisch evenwicht in het inwendige milieu van een organisme. Door het omzetten van stoffen en door opslag en uitscheiding van stoffen zorgt de lever voor een min of meer constant intern milieu. De lever vervult veel verschillende functies.

DE BOUW VAN DE LEVER

De lever bestaat uit heel veel zeshoekige **leverlobjes** van ongeveer 1 mm in doorsnede. Op de hoekpunten van een leverlobje zitten aftakkingen van de poortader en de leverslagader. Op deze plaatsen zitten ook aftakkingen van de **galgang** (zie afbeelding 35). Hierin komt de gevormde gal terecht. De galgang voert gal vanuit de lever af naar de galblaas. In het midden van een leverlobje zit een aftakking van de leverader. Het bloed van de poortader en de leverslagader komt vanuit de aftakkingen op de hoekpunten terecht in ruimten tussen de cellen van een leverlobje. De levercellen nemen stoffen uit het bloed op en geven stoffen aan het bloed af. Het bloed stroomt naar het midden van het leverlobje en wordt via de aftakking van de leverader afgevoerd.

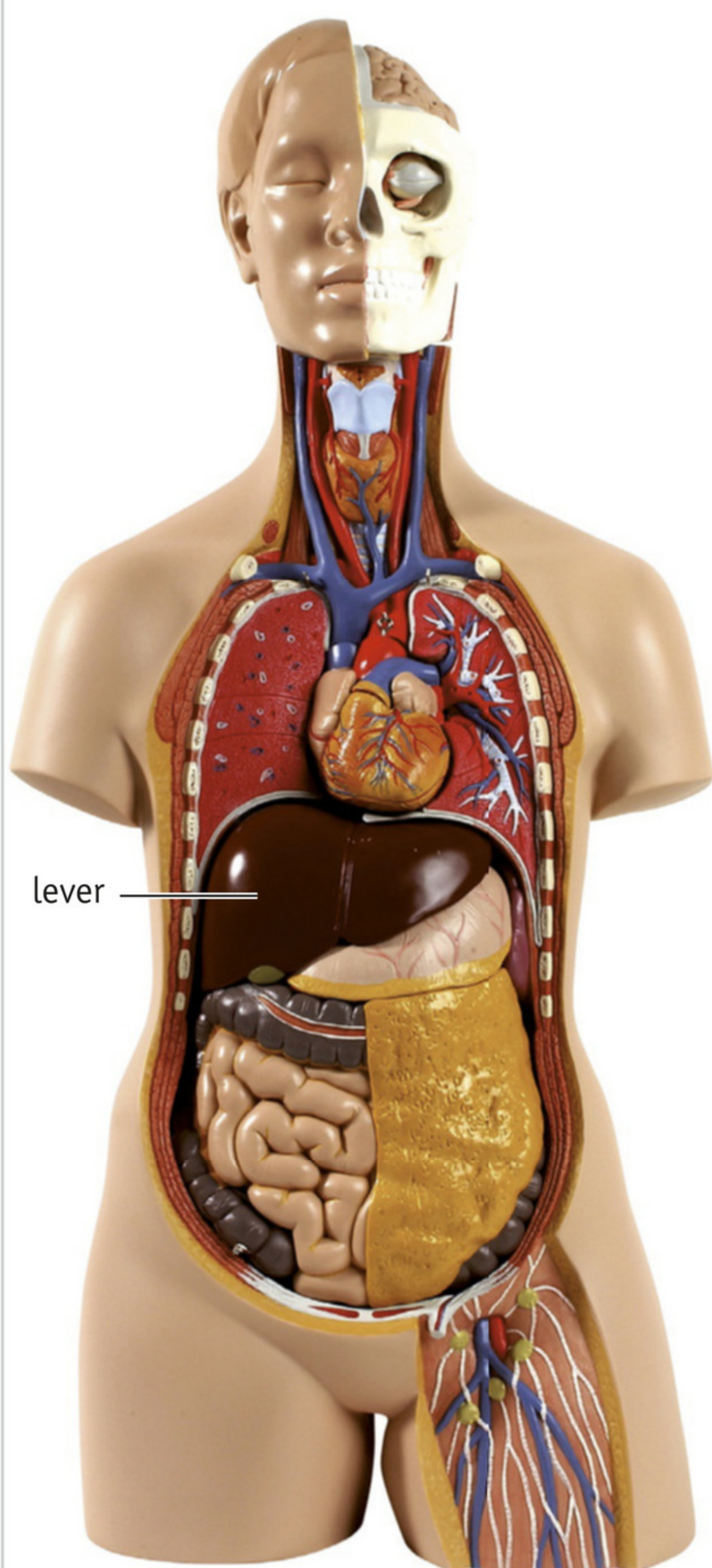
» PRACTICUMOPDRACHT 4

EMULGEREN EN AFBRAAK VAN BLOEDCELLEN

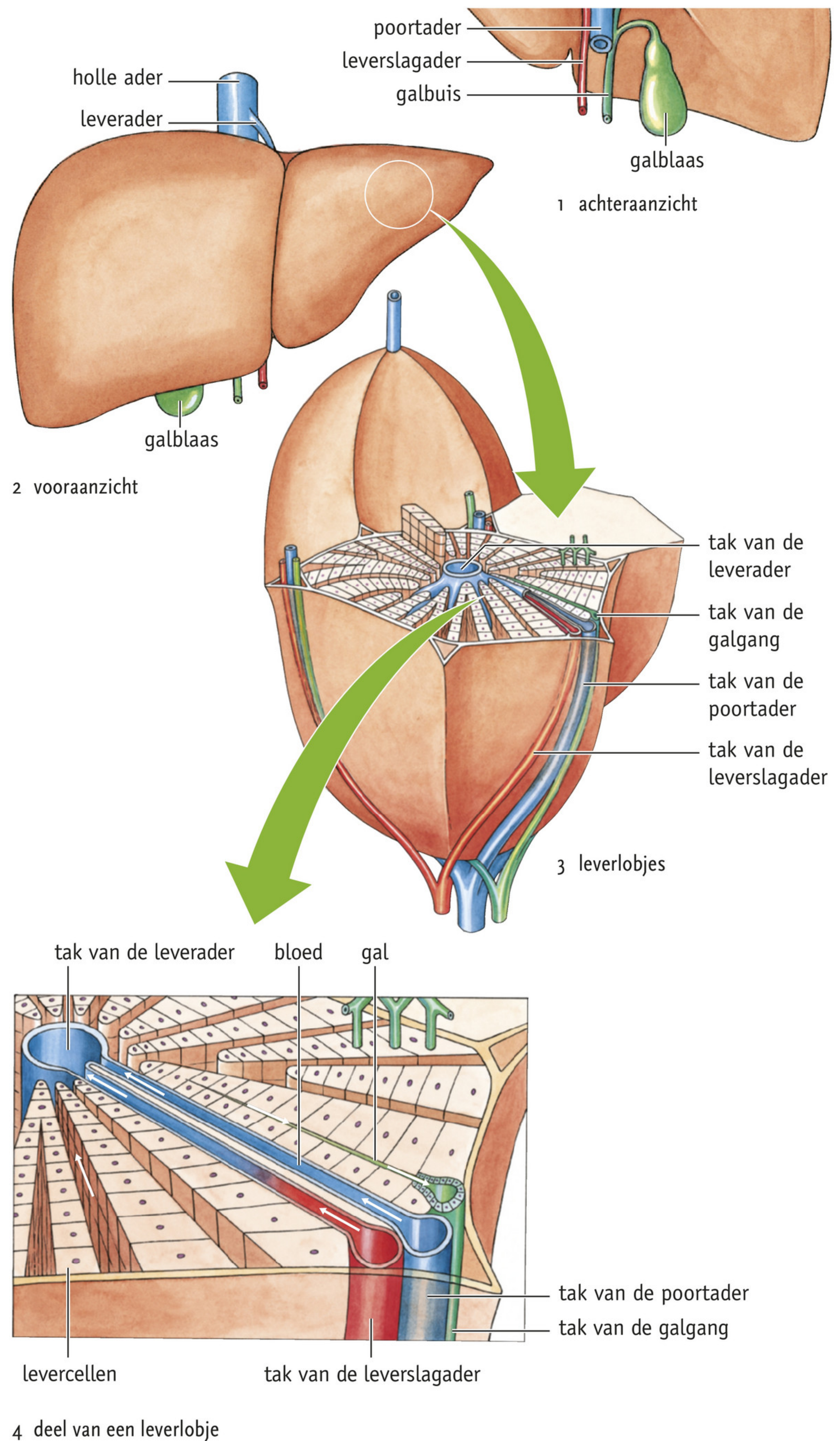
De cellen van de lever produceren gal. De gal stroomt in de richting van de hoekpunten en wordt via fijne vertakkingen van de galgang afgevoerd. De gal wordt verzameld en tijdelijk opgeslagen in de galblaas (zie afbeelding 35). Via de **galbuis** komt de gal terecht in de twaalfvingerige darm. Gal bevat onder andere water, galzuren, cholesterol en bilirubine. Galzuren emulgeren vetten en oliën. In het darmkanaal worden de galzuren omgezet in galzouten.

De lever is ook betrokken bij de afbraak van verouderde en beschadigde rode bloedcellen. Bij de afbraak van hemoglobine uit dode rode bloedcellen ontstaat via een reeks tussenproducten **bilirubine**. Bilirubine is een oranjegele galkleurstof. Deze is onoplosbaar in water en komt via de bloedbaan terecht in de lever, waar de bilirubine oplosbaar wordt gemaakt. Bilirubine wordt door de lever via de galwegen uitgescheiden. In de dikke darm wordt bilirubine onder invloed van enzymen van darmbacteriën omgezet in andere kleurstoffen. Deze kleurstoffen geven de bruine kleur aan de ontlasting. Bij de afbraak van hemoglobine komt het ijzer uit de heemgroepen vrij. Dit ijzer wordt gebonden aan een eiwit waardoor **ferritine** ontstaat. Ferritine wordt vooral in de lever opgeslagen. Het ijzer kan weer vrijkomen uit ferritine en onder andere worden hergebruikt bij de aanmaak van hemoglobine. Behalve ijzer kunnen ook andere mineralen (kalium, koper) en vitaminen (A, B12 en D) in de lever worden opgeslagen.

▼ **Afb. 34** De ligging van de lever.



► **Afb. 35** De bouw van de lever.



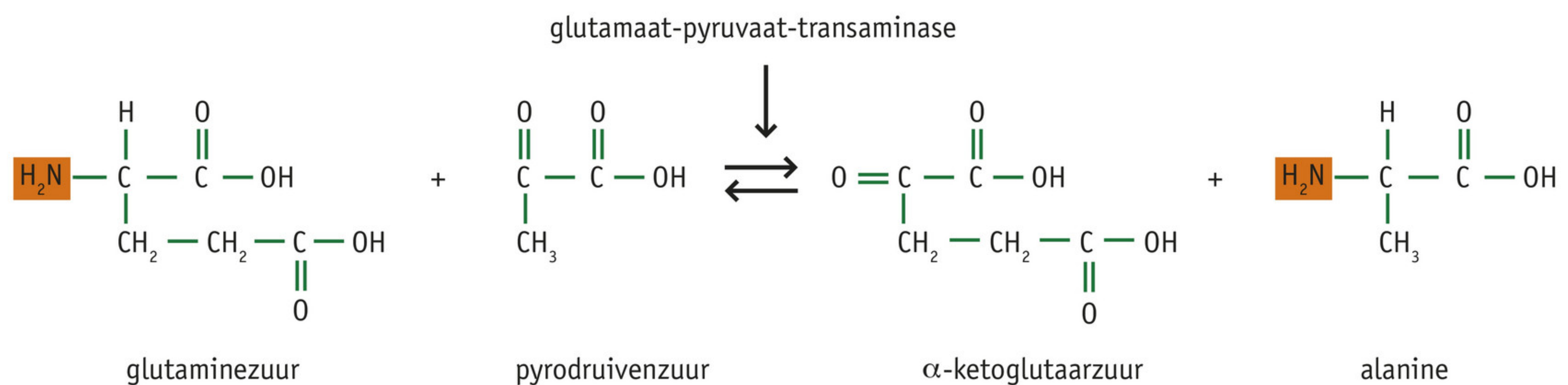
KOOLHYDRAAT-, EIWIT- EN VETSTOFWISSELING

De lever speelt een rol bij de koolhydraatstofwisseling. De lever slaat glycogeen op en maakt dit weer vrij zodra dat nodig is. De glucoseconcentratie van het bloed is gemiddeld 0,1%. De α -cellen en β -cellen in de eilandjes van Langerhans in de alvleesklier produceren de hormonen glucagon en insuline. Onder invloed van deze hormonen wordt de normwaarde van 0,1% glucose gehandhaafd. De

lever speelt hierbij een rol, doordat in de lever een deel van het glycogeen wordt opgeslagen. De lever heeft ook functies bij de eiwitstofwisseling, waarbij in de lever eiwitten worden gevormd uit aminozuren. Aminozuren die in het darmkanaal in het bloed zijn opgenomen, worden via de poortader naar de lever vervoerd. Een deel van deze aminozuren zal onveranderd weer worden afgevoerd via de leverader. Een ander deel wordt gebruikt om eiwitten van te maken.

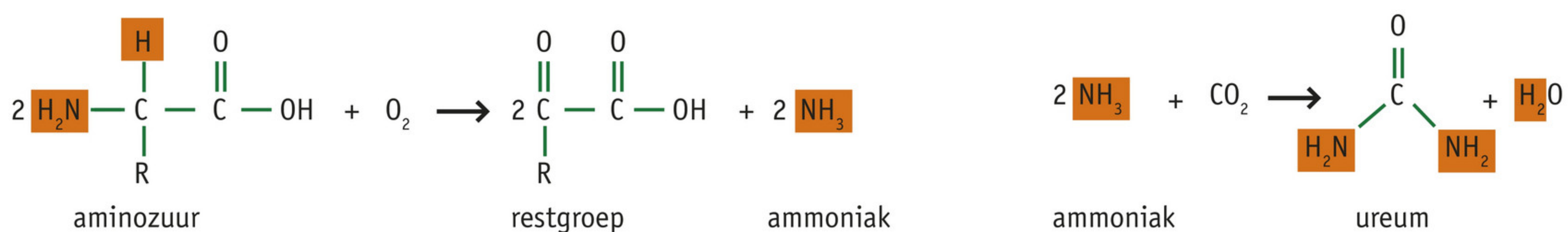
Aminozuren kunnen in de lever door **transaminering** worden omgezet in andere, niet-essentiële aminozuren. Dit gebeurt door overplaatsing van de aminogroep ($-\text{NH}_2$). In afbeelding 36 is weergegeven hoe door transaminering uit glutaminezuur en pyrodruivenzuur het aminozuur alanine kan ontstaan. De aminozuren in het interne milieu verkeren in een onderling evenwicht. Door transaminering kan de lever dit evenwicht handhaven.

▼ **Afb. 36** Transaminering.



Overtollige aminozuren kunnen in de lever worden afgebroken. Van de aminozuren wordt daarbij de $-\text{NH}_2$ -groep afgesplitst en omgezet in ammoniak (NH_3). Dit proces heet **desaminering** (zie afbeelding 37.1). Ammoniak is in geringe concentratie al zeer giftig. In de lever wordt ammoniak omgezet in **ureum** (zie afbeelding 37.2). Ureum wordt aan het bloed afgegeven en door de nieren uitgescheiden. Het restant van het aminozuur (na desaminering) kan worden omgezet in stoffen die in de citroenzuurcyclus verder worden gedissimileerd.

▼ **Afb. 37** Afbraak van een aminozuur.

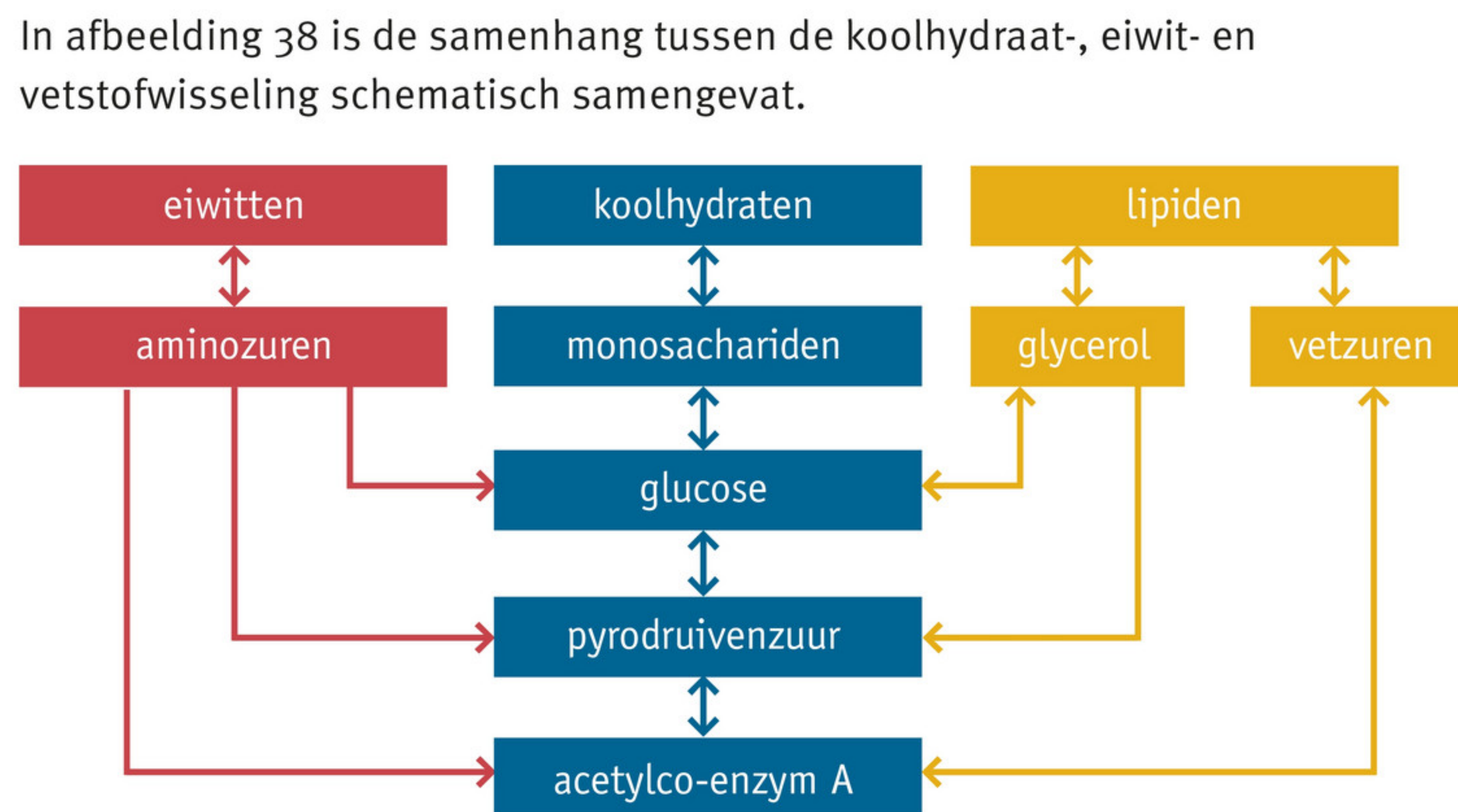


1 desaminering

2 vorming van ureum

Bij de vetstofwisseling in de lever worden onder andere niet-essentiële vetzuren gevormd uit andere vetzuren, aminozuren of monosachariden zoals glucose. Een beperkte hoeveelheid vet kan in de lever worden opgeslagen. Door de vorming en omzetting van cholesterol regelt de lever de cholesterolconcentratie in het bloed. In de lever wordt cholesterol gevormd, uitgaande van acetylco-enzym A (acetyl-CoA). Deze cholesterol kan vervolgens onder andere worden omgezet in galzuren en vitamine D.

► **Afb. 38** Samenhang tussen koolhydraat-, eiwit- en vetstofwisseling.

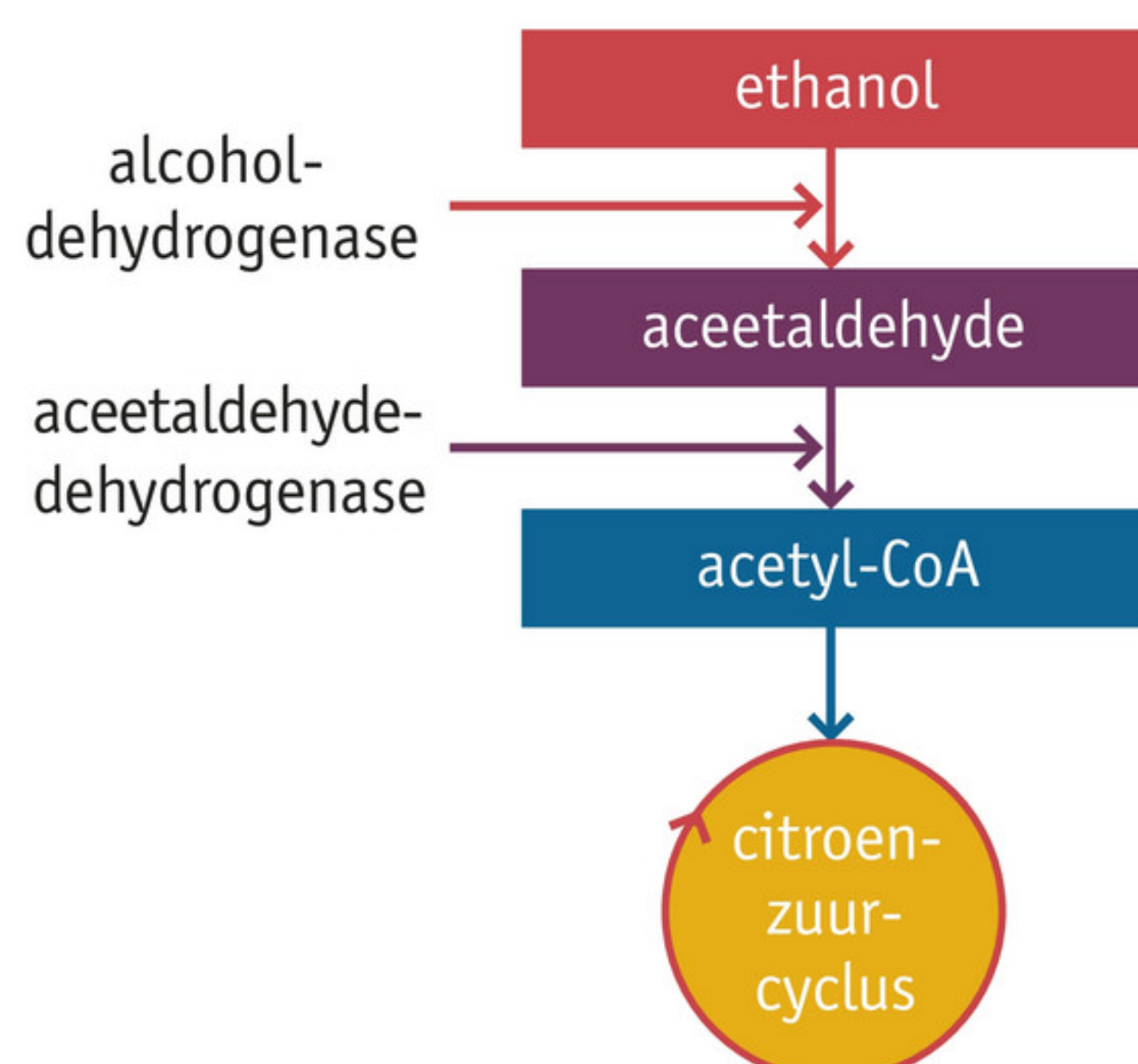


PLASMA-EIWITTEN EN DETOXIFICATIE

In de lever worden stollingsfactoren voor de bloedstolling gevormd, waaronder fibrinogeen en protrombine. Ook andere plasma-eiwitten zoals albuminen en globulinen worden in de lever gesynthetiseerd.

Bij de **detoxificatie** (ontgifting) van het bloed haalt de lever gifstoffen en andere lichaamsvreemde stoffen (bijvoorbeeld alcohol, drugs en medicijnen) uit het bloed en maakt ze onwerkzaam. Een deel van deze stoffen wordt door de lever afgebroken en door de nieren uitgescheiden.

▼ **Afb. 39** Afbraak van alcohol.



Bij de afbraak van alcohol ontstaat aceetaldehyde (zie afbeelding 39). De afbraak vindt plaats met behulp van het enzym alcoholdehydrogenase. Aceetaldehyde wordt vervolgens met behulp van aceetaldehyde-dehydrogenase omgezet in acetyl-CoA. Acetyl-CoA kan in de citroenzuurcyclus worden gedissimileerd of worden gebruikt voor de synthese van onder andere glucose en lipiden. Door overmatig alcoholgebruik kunnen levercellen worden beschadigd, waardoor ze afsterven. Ze worden dan vervangen door bindweefsel waarin vet wordt opgeslagen (**levercirrose**).

Sommige gifstoffen kunnen niet onwerkzaam worden gemaakt. Een deel van deze gifstoffen wordt opgeslagen in de lever, de huid en de haren (bijvoorbeeld kwik en arsenicum).

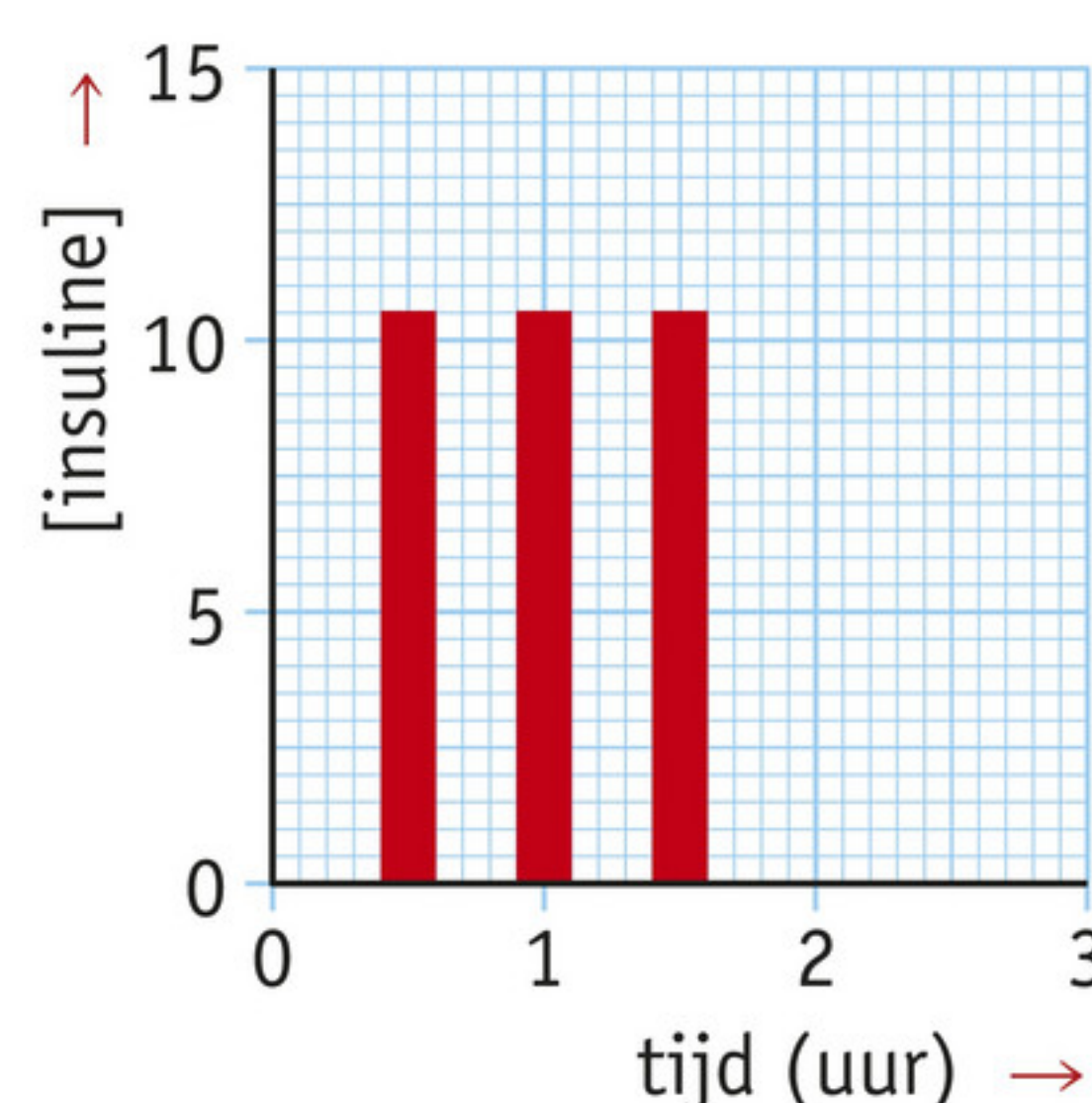
opdrachten

- 26 a** De lever is net als de longen, de nieren en de huid een uitscheidingsorgaan. De endeldarm wordt niet beschouwd als een uitscheidingsorgaan. Leg dit uit.
- b** Verstopte galwegen leiden tot een gele huid en een gelig oogwit (geelzucht). Leg uit waardoor dit verschijnsel ontstaat.
- c** Een ander gevolg van verstopte galwegen is dat de ontlasting vettig is. Leg uit waardoor dit komt.
- 27** Geelzucht is geen ziekte, maar een symptoom. Er zijn verschillende ziekten/aandoeningen waardoor geelzucht wordt veroorzaakt. Deze kun je onderverdelen in drie typen:
- 1 Bij pre-hepatische aandoeningen (voor de ingang van de lever) is de afbraak van rode bloedcellen sneller dan normaal. Dat is bijvoorbeeld het geval bij malaria en bij sikkelcelanemie.

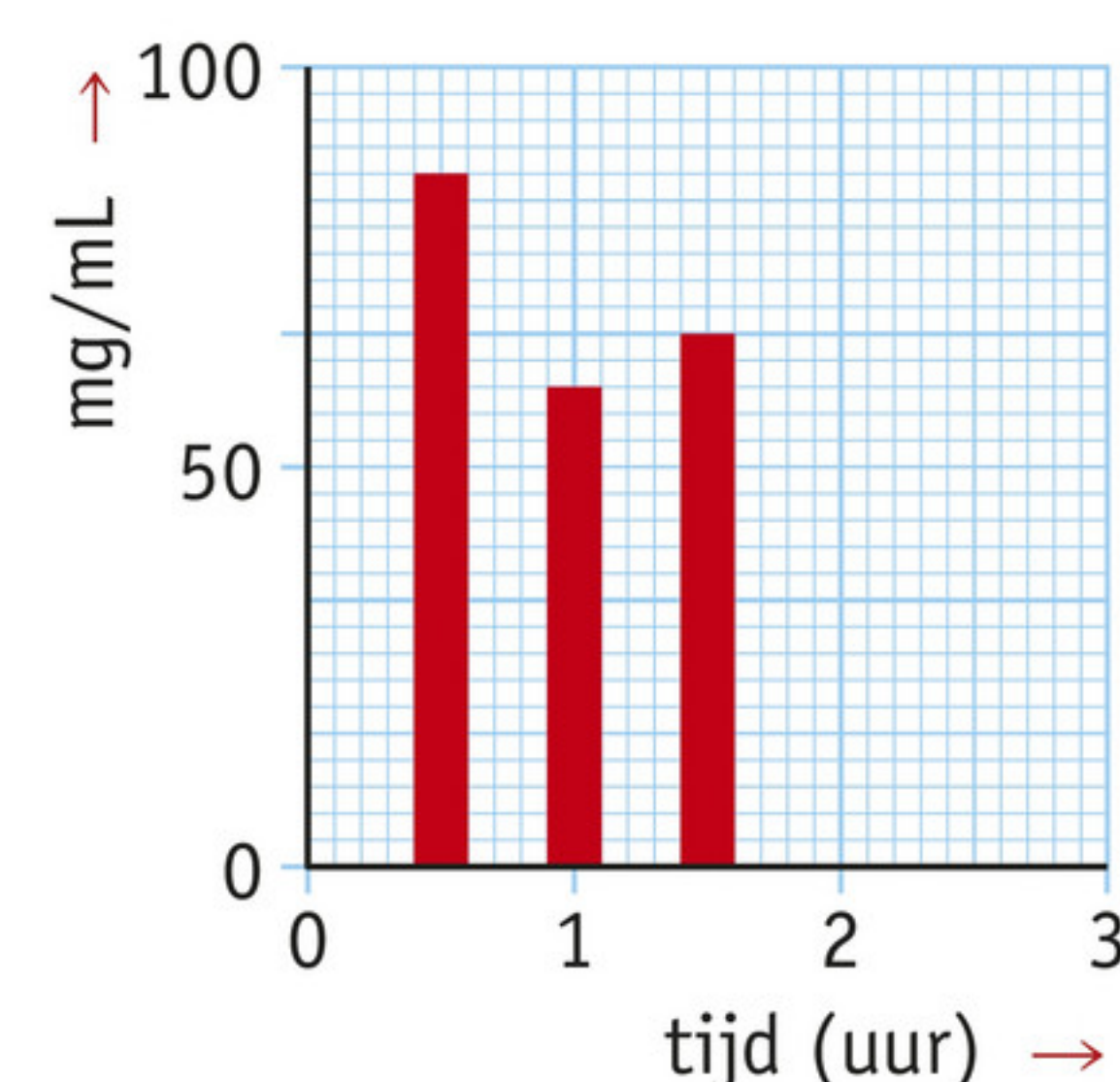
- 2 Bij hepatische aandoeningen (in de lever) zijn veel levercellen afgestorven. Daardoor verloopt de omzetting van onopgeloste in opgeloste bilirubine moeizaam en kan de lever de opgeloste bilirubine die nog wel wordt gevormd, niet uitscheiden. Dit is onder andere het geval bij hepatitis en levercirrose.
 - 3 Bij post-hepatische aandoeningen (na de uitgang van de lever) zijn de galwegen verstopt, bijvoorbeeld door galstenen.
- a Je wilt als arts nagaan of de aandoening pre-hepatisch, hepatisch of post-hepatisch is. De nieren, die verantwoordelijk zijn voor de uitscheiding van urine, kunnen geen onoplosbare bilirubine uitscheiden. De nieren kunnen wel oplosbare bilirubine uitscheiden.
- Kun je een sluitende diagnose stellen aan de hand van de volgende gegevens?
- de kleur van de ontlasting;
 - de kleur van de urine;
 - de concentratie bilirubine in de urine.
- Leg je antwoord uit en gebruik hierbij een tabel. Maak eventueel gebruik van internet.
- b Uit het onderzoek blijkt dat de patiënt donkere urine en lichtgekleurde ontlasting heeft en dat de concentratie onoplosbare bilirubine in het bloed normaal is, maar de concentratie oplosbare bilirubine verhoogd. Is er nu een diagnose te stellen? Licht je antwoord toe met een schema.

- 28 Bij een baby wordt gedurende de eerste uren na de geboorte de insulineconcentratie van het bloed bepaald. De baby krijgt gedurende deze tijd nog geen voeding. De resultaten zijn weergegeven in het diagram van afbeelding 40.1.
- Drie leerlingen (Daphne, Fay en Tom) geven een verklaring voor de daling van de glucoseconcentratie van het bloed zoals die in afbeelding 40.2 is weergegeven.
- Daphne zegt dat de glucoseconcentratie daalt, doordat het energieverbruik van de baby na de geboorte stijgt.
- Fay zegt dat de glucoseconcentratie daalt, doordat de glucoseaanvoer uit de placenta ophoudt.
- Tom zegt dat de glucoseconcentratie daalt, doordat in de lever nog te weinig glycogeen is gevormd.
- Welke verklaringen zijn juist en welke is onjuist? Leg je antwoorden uit.

► **Afb. 40** Insuline- en glucoseconcentratie van een baby.



1 insuline



2 glucose

- 29

Een van de gevolgen van overmatig alcoholgebruik is levercirrose. De meeste levertransplantaties worden uitgevoerd bij mensen met levercirrose.

a

Vind jij dat iemand die levercirrose heeft doordat hij gedurende lange tijd te veel heeft gedronken in aanmerking komt voor een donorlever? Bespreek dit met een klasgenoot en noteer jullie conclusies.

b

In een wetsvoorstel uit 2017 staat dat iedere Nederlander donor is, tenzij je bezwaar maakt. Toen Pia Dijkstra dit voorstel voor een nieuwe donorwet indiende in de Tweede Kamer, stemden 75 Kamerleden voor en 74 tegen. Helène Dupuis was tegen het wetsvoorstel. Zij zegt dat het in tegenspraak is met artikel 11 van de Grondwet: ‘Ieder heeft, behoudens bij of krachtens de wet te stellen beperkingen, recht op onaantastbaarheid van zijn lichaam’. Zou jij voor of tegen het wetsvoorstel stemmen? Beargumenteer je antwoord.
- 30

Volgens de reactievergelijking in het onderzoek van afbeelding 41 ontstaat zuurstof bij de afbraak van waterstofperoxide.

a

Hoe kun je deze zuurstof aantonen?

b

De hypothese sluit niet goed aan op de onderzoeksvraag en kan met dit experiment nooit worden aangenomen. Leg uit waarom niet.

c

Welke conclusie kun je trekken?

d

Als je een stukje lever van een koe in een reageerbuis met waterstofperoxide legt, begint het te bruisen. Na verloop van tijd houdt het bruisen op. Hoe kun je deze twee verschijnselen verklaren?

►► PRACTICUMOPDRACHT 5

▼ Afb. 41

ONDERZOEK		WATERSTOFPEROXIDE EN KATALASE IN AARDAPPELS
Inleiding	Bij verschillende stofwisselingsprocessen ontstaat waterstofperoxide (H ₂ O ₂). Dit is een schadelijke stof. Eukaryote cellen bevatten het enzym katalase. Waterstofperoxide wordt afgebroken onder invloed van katalase waarbij water en zuurstof ontstaan: $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	
Onderzoeksvraag	Wordt waterstofperoxide ook door aardappelcellen afgebroken?	
Hypothese	Alle soorten organismen breken waterstofperoxide af.	
Experiment	Een reageerbuis wordt gevuld met water en drie stukjes aardappel. Een andere reageerbuis wordt gevuld met water. Aan beide buizen wordt vervolgens 5 mL waterstofperoxide toegevoegd.	
Resultaat	In de buis met aardappelstukjes begint de inhoud te bruisen. Na verloop van tijd houdt het bruisen op. In de buis zonder aardappelstukjes vindt geen reactie plaats.	
Conclusie		

CONTEXT

Wetenschap

De Aziatische gloed

▼ **Afb. 42** De Aziatische gloed.



Bij veel Aziaten wordt alcohol een stuk efficiënter omgezet in aceetaldehyde dan bij Europeanen. Dat komt doordat zij een variant hebben van het gen dat codeert voor alcoholdehydrogenase. Dat lijkt mooi, maar het probleem is dat aceetaldehyde nog giftiger is dan alcohol. Het is de stof die zorgt voor het ‘katergevoel’. Het gevaarlijkst is dat aceetaldehyde niet goed wordt afgebroken in het onschuldige acetyl-CoA. Dat komt doordat het enzym aceetaldehyde-dehydrogenase onvoldoende werkt waardoor zo een overmaat aan aceetaldehyde ontstaat. Dat is het gevolg van een mutatie, die vooral voorkomt bij Chinezen, Japanners en Koreanen. Eén glas alcohol is voldoende om je compleet onwel te laten voelen en je een rood hoofd te bezorgen. Vandaar: de Aziatische gloed (zie afbeelding 42).

▼ **Afb. 43**

Land	Pure alcohol per persoon (in L) per jaar
Rusland	14,5
Australië	12,6
Canada	10,3
Europa	10,2
Brazilië	9,1
Verenigde Staten	9,0
China	7,6
Japan	7,5

opdracht

- 31** In afbeelding 43 staat het gemiddelde alcoholgebruik in 2015 van personen ouder dan 15 jaar, afkomstig van de Wereldgezondheidsorganisatie.
- Geef een verklaring voor het verschil tussen China en Japan enerzijds en de andere landen anderzijds.
 - In Maleisië is het drankgebruik 1,7 L per persoon per jaar, terwijl dat in buurland Thailand 8,3 L is. Geef een verklaring voor dit verschil.
 - In Zuid-Korea is het drankgebruik 10,9 L per persoon per jaar. Dat is een stuk hoger dan het wereldgemiddelde van 6,3 L. Geef hiervoor een mogelijke verklaring.
 - Arbeiders die in de jaren 1920 werkten in de autobandenindustrie, merkten dat ze slecht tegen alcohol konden. Dat kwam doordat bij het vulkaniseren van rubber disulfiram werd gebruikt. Gebleken is dat disulfiram het enzym aceetaldehyde-dehydrogenase remt. Disulfiram wordt tegenwoordig gebruikt om mensen van hun alcoholverslaving af te helpen. Leg uit hoe dit werkt.
 - Je kunt de mutatie die voorkomt onder Aziaten zien als een evolutionair voordeel. Leg dit uit.

Leerdoelen

- Je kunt de bouw, werking en functie van de nieren en de urinewegen beschrijven.
- Je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de nieren (homeostase).

4 De nieren

‘Alles is giftig en niets is zonder gif.’ Dat zei arts en theoloog Paracelsus (1493–1541) die zich onder andere bezighield met alchemie en astrologie. Is water dan ook giftig? Ja, maar het hangt er wel vanaf hoeveel je ervan binnenkrijgt.

HOMEOSTASE

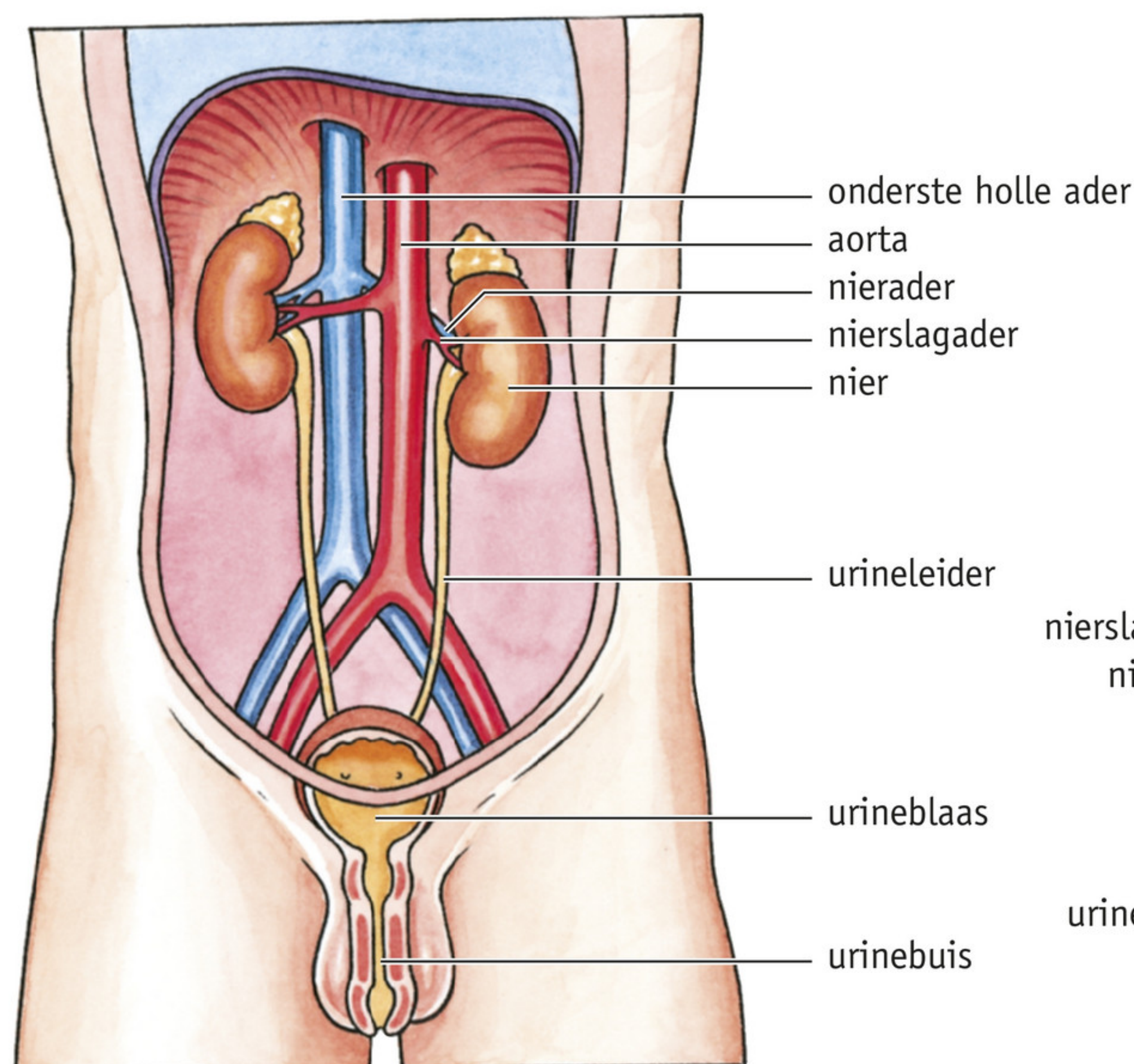
De **nieren** liggen in de buikholte links en rechts van de wervelkolom (zie afbeelding 44). Door de nierslagaders stroomt zuurstofrijk bloed naar de nieren. Dit bloed bevat onder andere overtollige en schadelijke stoffen. De nieren verwijderen deze stoffen uit het bloed. Door de nieraders stroomt het bloed weg uit de nieren. Vooral door de uitscheiding van overtollig water en overtollige zouten wordt de osmotische waarde van het interne milieu constant gehouden. Daarmee spelen de nieren, net als de lever, een belangrijke rol bij de homeostase.

DE BOUW VAN DE NIEREN

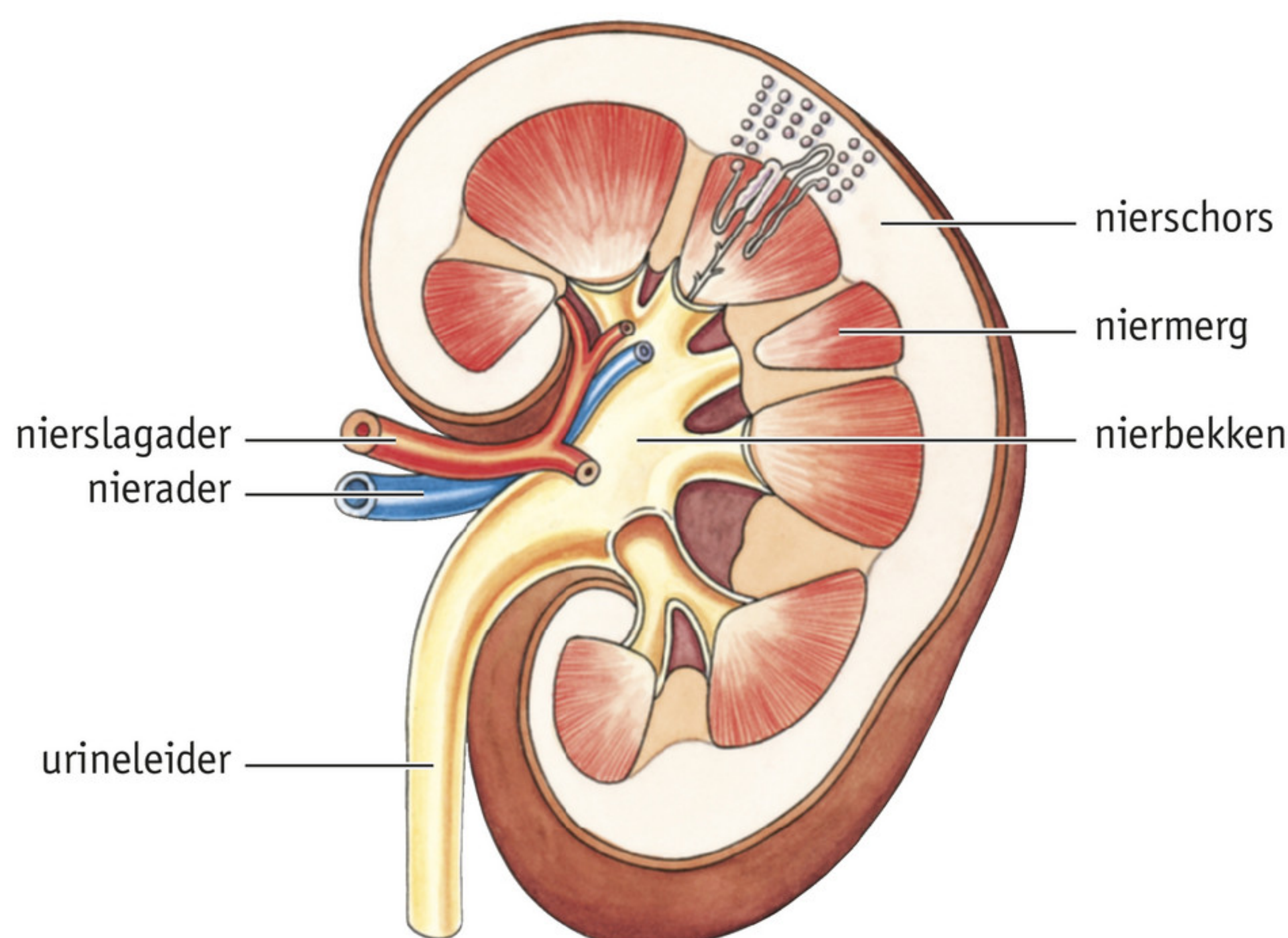
De verwijderde stoffen, zoals water, zouten en schadelijke stoffen, vormen samen de **urine**. Via de **urineleiders** wordt de urine afgevoerd naar de **urineblaas** (zie afbeelding 44). In de urineblaas wordt de urine tijdelijk opgeslagen. Van tijd tot tijd wordt de urine uit de urineblaas afgevoerd via de **urinebuis**.

Een nier bestaat uit drie delen: de **nierschors**, het **niermerg** en het **nierbekken** (zie afbeelding 45). In de nierschors en het niermerg wordt de urine gevormd. In het nierbekken wordt de urine verzameld.

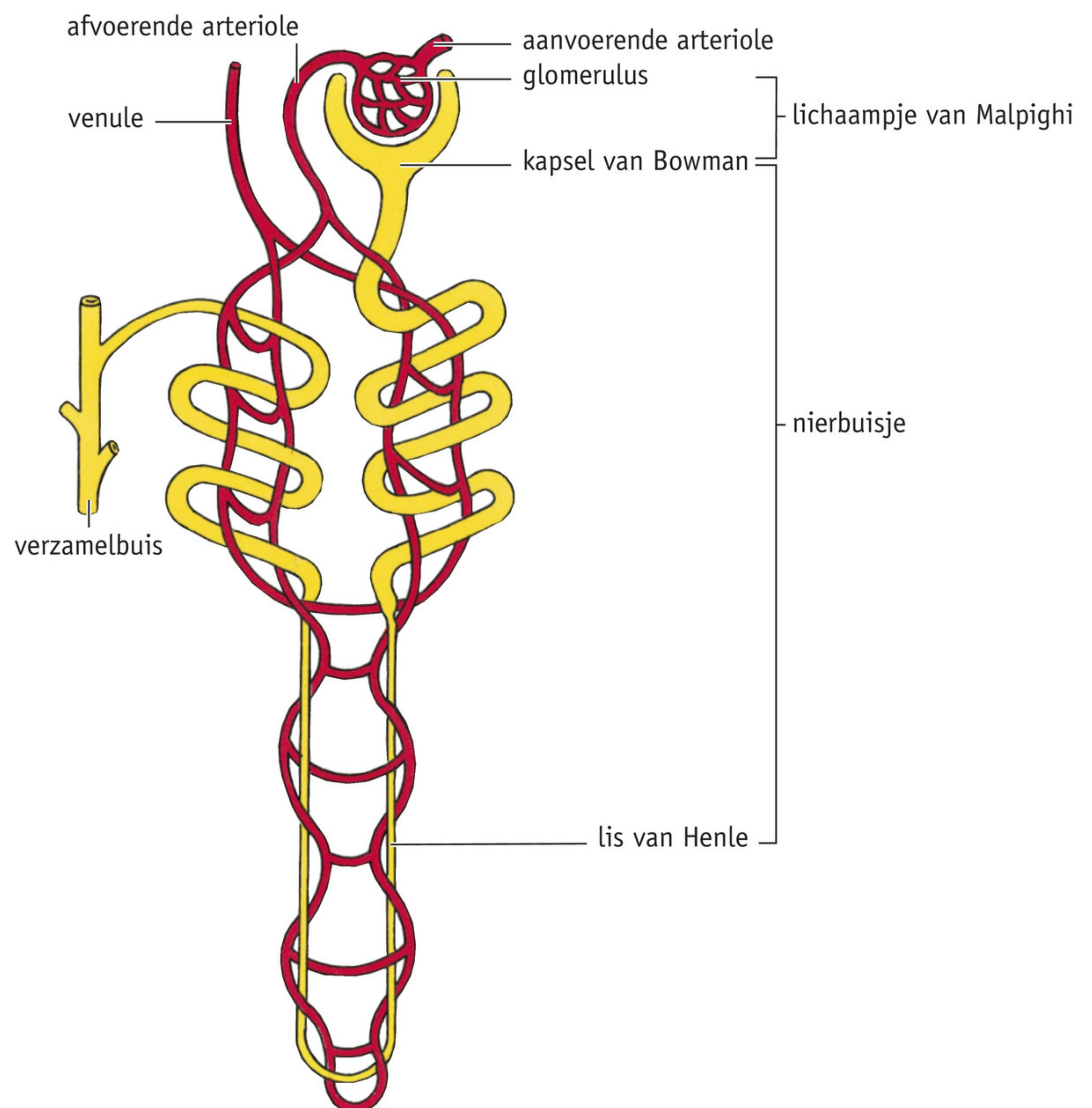
▼ **Afb. 44** De nieren en de urinewegen (schematisch).



▼ **Afb. 45** De bouw van een nier.



In de nierschors en het niermerg liggen per nier ongeveer een miljoen niereenheden. Een niereenheid (**nefron**) bestaat voor het grootste deel uit een **nierbuisje** of **nierkanaaltjes** (zie afbeelding 46). In de nierbuisjes wordt de urine gevormd. De nierbuisjes monden uit in **verzamelbuisjes**. Via de verzamelbuisjes komt de urine in de nierbekkens terecht.

► **Afb. 46** Een niereenheid.

Een nierbuisje bestaat uit twee gekronkelde delen en een lus: de **lis van Henle**. Aan het begin van het nierbuisje zit een **nierkapsel**: het **kapsel van Bowman**. Je kunt een nierkapsel vergelijken met een zeef: er zit een groot aantal gaatjes in. Een aanvoerende arteriole, een vertakking van de nierslagader, vertakt zich in het nierkapsel verder tot een kluwen van haarvaten. Je noemt deze haarvatenkluwen een **glomerulus** (meervoud: glomeruli). Het nierkapsel met de haarvatenkluwen samen heet een **lichaampje van Malpighi**. De haarvaten van de glomerulus verenigen zich weer tot een afvoerende arteriole. Deze vertakt zich tot een haarvatennet om het nierbuisje. De haarvaten verenigen zich daarna tot een venule. De venulen verenigen zich tot de nierader.

DE VORMING VAN VOORURINE

De diameter van de afvoerende arteriolen is kleiner dan die van de aanvoerende arteriolen. Hierdoor is de bloeddruk in de haarvaten in de glomeruli zo hoog, dat vanuit die haarvaten voortdurend een deel van het bloedplasma in de nierkapsels wordt geperst. Grote moleculen kunnen hier niet doorheen. Alleen kleine moleculen kunnen door de gaatjes in de wand van de nierkapsels. Dit proces heet **ultrafiltratie**. Het vocht in de nierkapsels noem je **voorurine**. Voorurine bevat onder andere glucose, ionen (natrium, chloor, calcium en kalium) en ureum, maar geen eiwitten of bloedcellen (zie afbeelding 47).

► **Afb. 47** Enkele stoffen in bloedplasma, voorurine en urine.

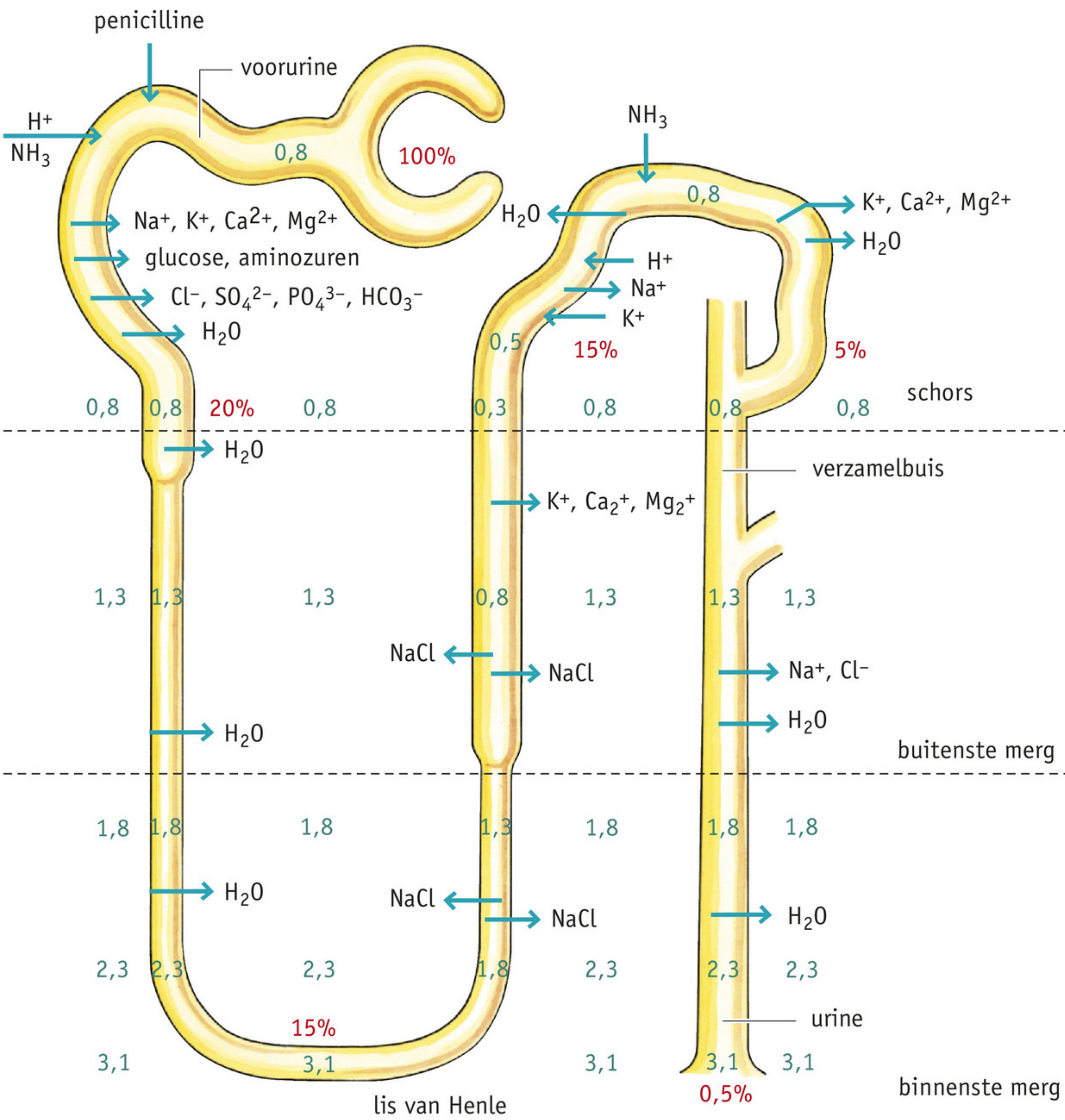
	Bloedplasma (g/100 mL)	Voorurine (g/100 mL)	Urine (g/100 mL)
Eiwitten	7,5	0	0
Glucose	0,1	0,1	0
Na ⁺	0,4	0,4	0,35
Cl ⁻	0,36	0,36	0,6
Ca ²⁺	0,01	0,01	0,03
K ⁺	0,02	0,02	0,15
Ureum	0,03	0,03	2,0

De cellen van de nierkapsels leveren geen energie voor de ultrafiltratie, zodat de hoeveelheid zuurstof in het bloed in de afvoerende arteriolen vrijwel gelijk is aan die in de aanvoerende arteriolen. De nieren zijn zeer sterk doorbloed. Per minuut stroomt er ongeveer 1,2 L bloed door de nieren. Hieruit wordt 125 mL filtraat gemaakt. Dat betekent per dag 180 L voorurine. Uiteindelijk blijft er ongeveer 1,5 L urine over.

VAN VOORURINE NAAR URINE

De omzetting van voorurine in urine vindt plaats in de nierbuisjes en de verzamelbuisjes. Water en andere nuttige stoffen, zoals glucose en aminozuren, worden selectief uit de voorurine gehaald (zie afbeelding 48).

► **Afb. 48** Uitwisseling van stoffen tussen een nefron en de weefselvloeistof (schematisch).



- De percentages zijn de filtraatvolumen die nog aanwezig zijn vanaf het kapsel van Bowman.
- De andere getallen geven de plaatselijke osmotische waarde in 10^6 Pa .

De cellen van de wand van de nierbuisjes nemen de opgeloste nuttige stoffen op uit de voorurine en geven ze af aan de weefselvloeistof tussen de nefronen. Vandaaruit gaan de stoffen naar de bloedvaten rondom de nierbuisjes. Dit proces vindt plaats door middel van actief transport en wordt **terugresorptie** genoemd. De cellen zelf worden van voedingsstoffen en zuurstof voorzien door het bloed in de haarvatennetten.

Bij de terugresorptie hebben de verschillende delen van de nierbuisjes (gekronkelde delen en lis van Henle) een speciale functie. In het eerste gekronkelde deel van de nierbuisjes vindt 80% van de terugresorptie plaats (zie afbeelding 48). Door actief transport via transportenzymen in de wandcellen van de nierbuisjes worden Na^+ -ionen (en andere positief geladen ionen, zoals K^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+}) van de voorurine naar de weefselvloeistof getransporteerd en vervolgens opgenomen in de haarvaten. Glucose en aminozuren worden op vergelijkbare wijze getransporteerd, in samenhang met het transport van Na^+ -ionen. Cl^- -ionen en andere negatief geladen ionen diffunderen passief van de voorurine naar de weefselvloeistof als gevolg van de veranderde elektrische lading.

OSMOSE EN DE OSMOTISCHE WAARDE

Aan het einde van het eerste gekronkelde deel van de nierbuisjes is de totale hoeveelheid glucose en aminozuren geresorbeerd, evenals een belangrijk deel van de bruikbare ionen. Door deze terugresorptie stijgt de osmotische waarde van de wandcellen en de weefselvloeistof. Door osmose gaat water uit de voorurine naar de weefselvloeistof en wordt vervolgens opgenomen in de haarvaten. Deze osmose van water volgt de terugresorptie van ionen en andere stoffen. Daardoor is de osmotische waarde van de voorurine aan het begin van de lis van Henle nog gelijk aan die van het filtraat in het kapsel van Bowman en dus vrijwel gelijk aan de osmotische waarde van het bloedplasma. Maar de samenstelling van de voorurine is inmiddels al flink veranderd; de concentratie ureum is toegenomen.

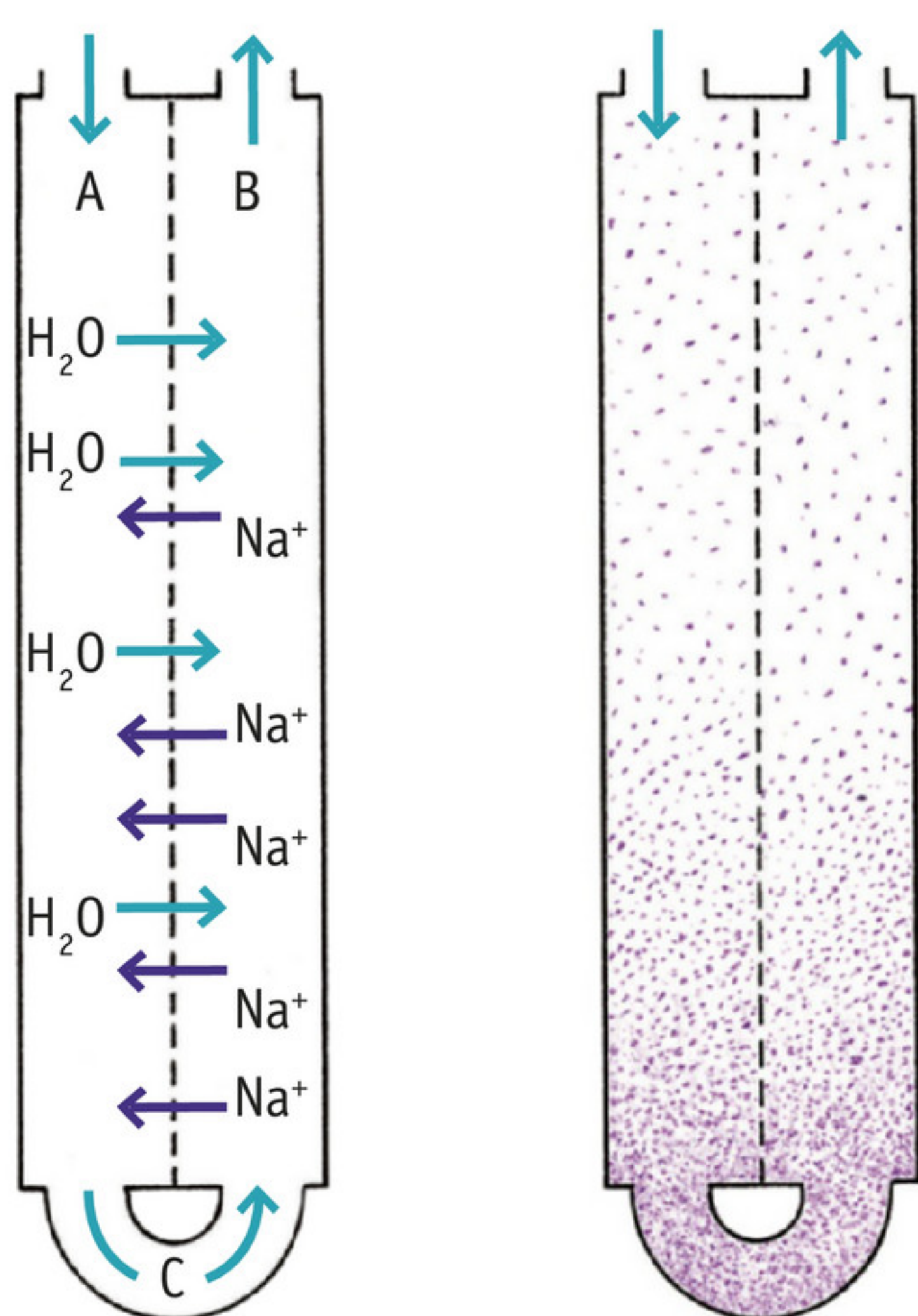
Naast het opnemen van stoffen uit de voorurine kunnen wandcellen van de nierbuisjes ook stoffen actief afgeven aan de voorurine. Dit gebeurt bijvoorbeeld met bepaalde medicijnen (zoals penicilline), ammoniak en met H^+ -ionen.

DE LIS VAN HENLE

De wandcellen van de lissen van Henle dragen slechts weinig bij aan de terugresorptie (zie afbeelding 48). De activiteiten van deze wandcellen zijn wel belangrijk bij het concentreren van de urine. De lis van Henle bestaat uit een dalend deel en een stijgend deel. In deze delen stroomt de voorurine in tegengestelde richting. Een dergelijk tegenstroomsysteem maakt het mogelijk dat de osmotische waarde in de richting van het buigpunt toeneemt (zie afbeelding 49).

In het model stroomt een oplossing van A via C naar B. De wand tussen A en B is selectief permeabel voor water. Bij een hogere hydrostatische druk in A ten opzichte van B zal er water van A naar B diffunderen. Hierdoor zal een deel van het water een kortere weg afleggen dan de opgeloste stof, waardoor er een oplopende concentratiegradiënt zal ontstaan van A naar C en een aflopende van C naar B. Dit effect versterkt wanneer er actief transport van de opgeloste stof plaatsvindt van B naar A. Op deze wijze kan sterk geconcentreerde urine worden geproduceerd.

▼ **Afb. 49** Een tegenstroomsysteem maakt een oplopende concentratie mogelijk (schematisch).

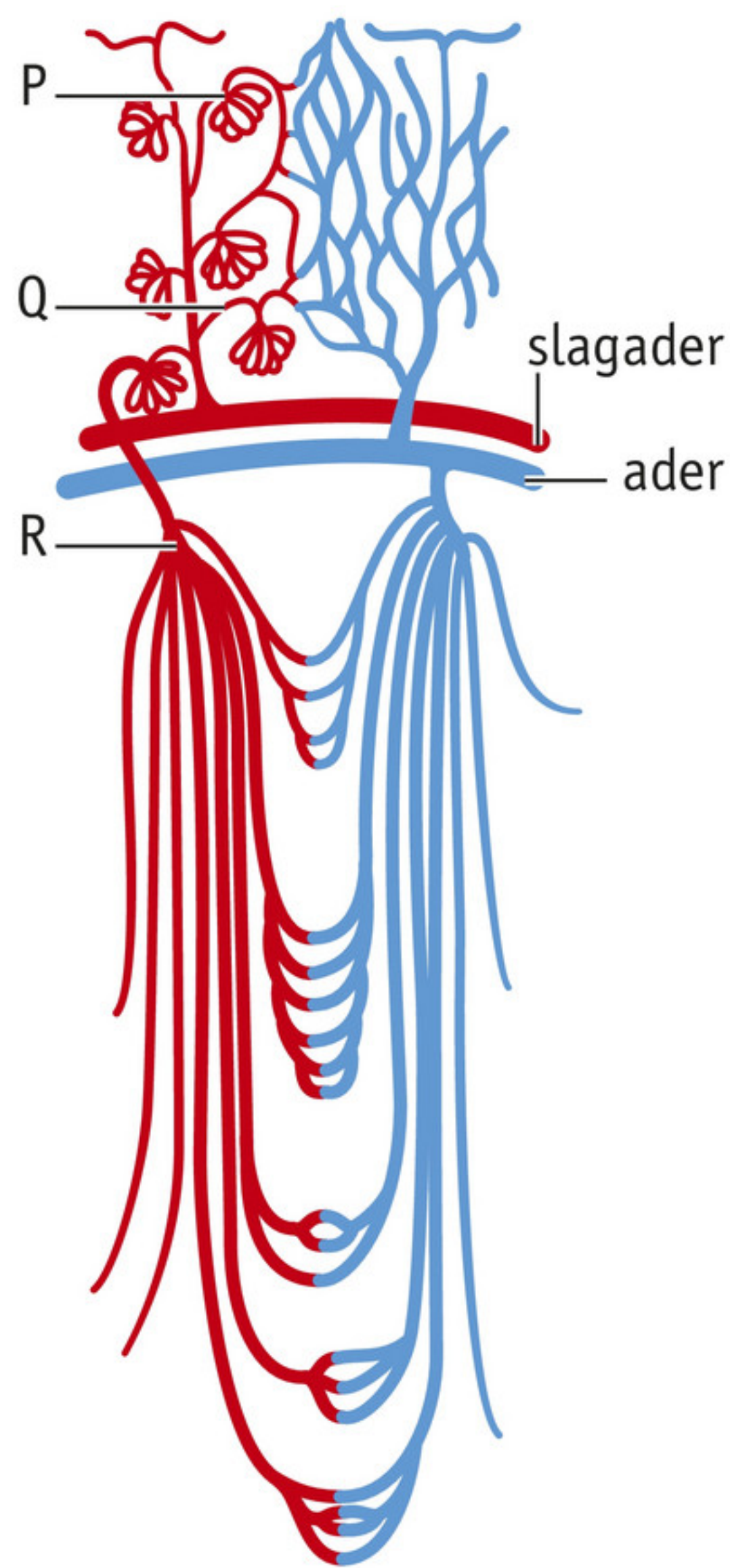


1 Water gaat van A naar B; Na^+ -ionen gaan van B naar A.

2 De concentratie neemt toe van boven naar beneden.

In het begin van het tweede gekronkelde deel van de nierbuisjes is het filtraatvolume nog slechts 15%. In dit deel vindt onder andere terugresorptie van ionen plaats. Onder invloed van het hormoon **aldosteron** uit de bijnierschors vindt actief transport van Na^+ -ionen van de voorurine naar de weefselvloeistof plaats. Tegelijkertijd vindt onder invloed van aldosteron afgifte van K^+ -ionen aan de voorurine plaats.

▼ Afb. 50



opdrachten

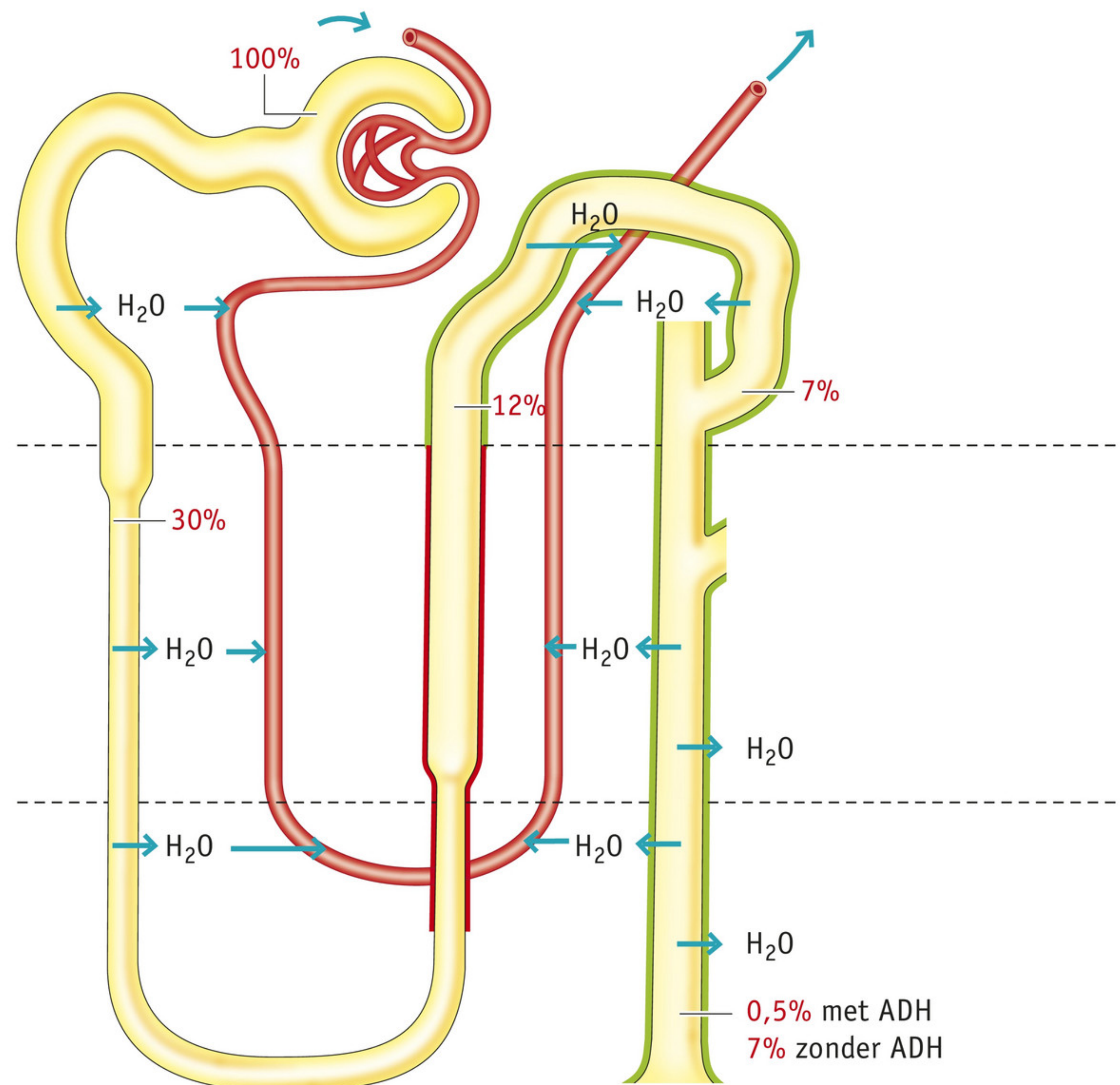
- 32** De cellen van de nierkapsels leveren geen energie voor de ultrafiltratie, waarbij voorurine wordt gevormd.
- Welke kracht veroorzaakt dan de vorming van voorurine?
 - Waar komt de energie vandaan voor de vorming van urine uit voorurine?
 - In afbeelding 50 is schematisch de bloedvoorziening van een deel van het niermerg en van de nierschors weergegeven. Drie plaatsen in bloedvaten zijn aangegeven met P, Q en R.
Op welke van de aangegeven plaatsen P, Q en R bevat het bloed de grootste hoeveelheid zuurstof per milliliter?
 - Bij een proefpersoon is de bloeddruk in de haarvaten van een glomerulus 8,5 kPa. De elasticiteit van het kapsel van Bowman veroorzaakt een tegendruk van 2 kPa. De osmotische druk in de haarvaten is 3,3 kPa. Wat is in deze situatie de nettodruk waarmee de vloeistof uit de haarvaten wordt geperst? Noteer de berekening.
- 33** Beantwoord de vragen a en b met behulp van afbeelding 46.
- Iemand produceert tijdelijk meer voorurine dan normaal. Dit is het gevolg van een vernauwing van bepaalde bloedvaten.
Treedt deze vernauwing op bij de aanvoerende of afvoerende arteriole? Leg je antwoord uit.
 - Door de aanvoerende arteriole, de afvoerende arteriole en de venule stroomt per minuut een hoeveelheid bloed die niet gelijk is.
Zet deze bloedvaten in de juiste volgorde, van het bloedvat waar de grootste hoeveelheid bloed doorheen stroomt naar het bloedvat waar de kleinste hoeveelheid bloed doorheen stroomt.
- 34**
- Door welk proces wordt water aan de voorurine onttrokken?
 - Wordt de afwezigheid van eiwitten in de urine veroorzaakt door terugresorptie? Leg je antwoord uit.
 - Wordt de afwezigheid van glucose in de urine veroorzaakt door terugresorptie? Leg je antwoord uit.
 - Vindt in de nierbuisjes terugresorptie van calciumionen plaats? Leg je antwoord uit.
 - Hoeveel procent van het water wordt aan de (voor)urine onttrokken? Gebruik bij de berekening de gegeven hoeveelheden voorurine en urine in de theorie.
- 35** De nierbuisjes van zoogdieren die in zee leven en zoogdieren die in zoet water leven, worden met elkaar vergeleken.
Welke nierbuisjes zullen (gerelateerd aan de lichaamsgrootte) langer zijn? Leg je antwoord uit.

REGELING VAN DE OSMOTISCHE WAARDE VAN HET INTERNE MILIEU

De celmembranen van het tweede gekronkelde deel van de nierbuisjes en van de verzamelbuisjes zijn impermeabel voor water. Onder invloed van het **antidiuretisch hormoon** of **ADH** (diurese = urineproductie) uit de hypofyseachterkwab neemt de permeabiliteit van deze celmembranen toe. Daardoor wordt per tijdseenheid meer water onttrokken aan de voorurine en opgenomen in het bloed (zie afbeelding 51), waardoor de osmotische waarde van het interne milieu daalt en de urineproductie afneemt.

Bij de regeling van de osmotische waarde van het interne milieu is sprake van negatieve terugkoppeling. De osmotische waarde van het bloed wordt waargenomen door zintuigcellen in de hypothalamus (**osmoreceptoren**). Als de osmotische waarde stijgt, wordt onder invloed van deze osmoreceptoren in de hypofyse meer ADH afgegeven aan het bloed. Doordat in de nieren meer water wordt onttrokken aan de voorurine, daalt de osmotische waarde van het bloed. Op deze manier wordt de **waterhuishouding** binnen het lichaam geregeld. Ook de zweetklieren in de huid spelen een rol bij de waterhuishouding.

► **Afb. 51** Resorptie van water (schematisch).



Legenda:

- impermeabel voor H_2O
- permeabiliteit afhankelijk van ADH

De percentages geven de hoeveelheid water die niet wordt geresorbeerd.

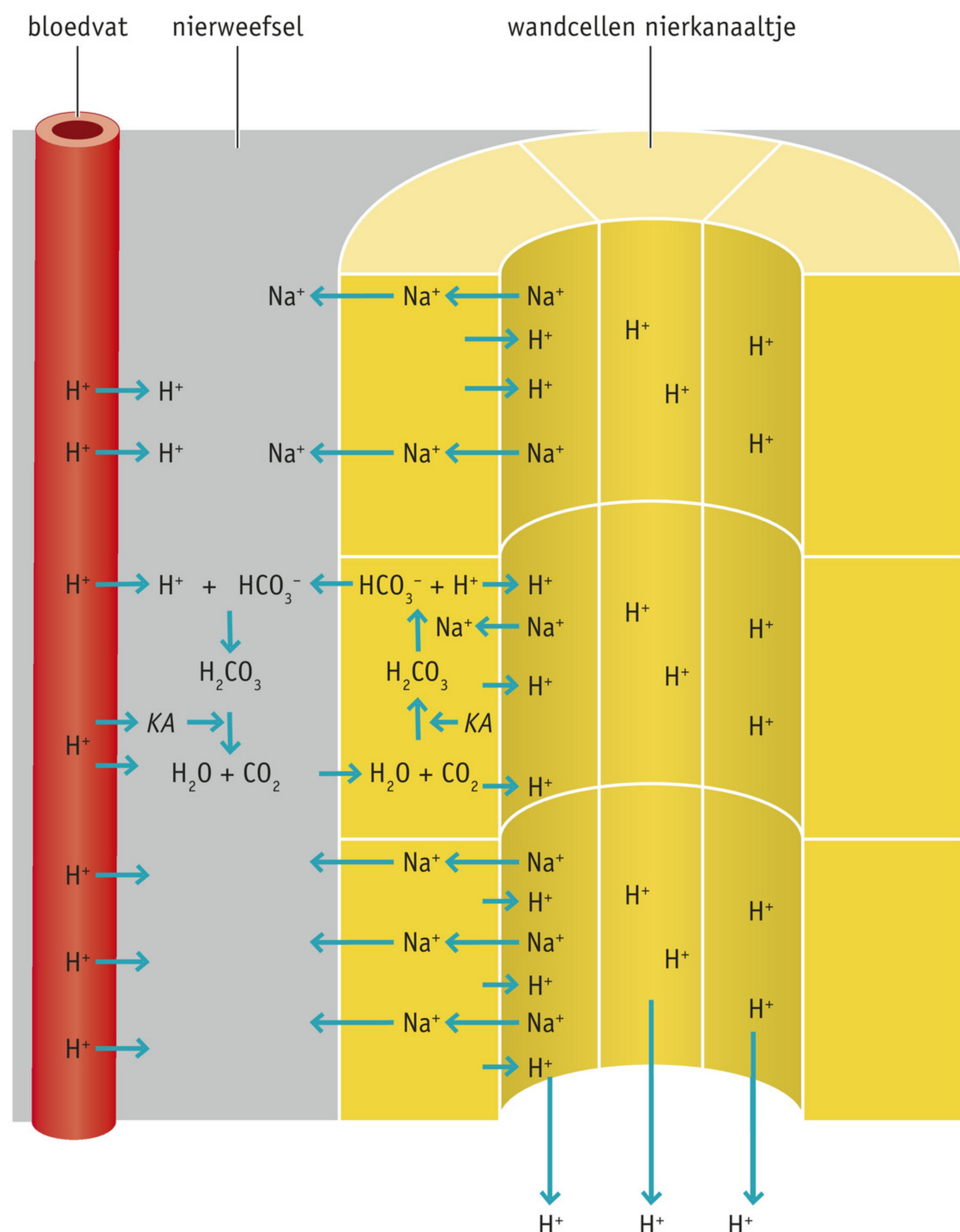
REGELING VAN DE PH VAN HET INTERNE MILIEU

Het bloedplasma en de weefselvloeistof hebben een pH van 7,4. Veranderingen in de pH van het interne milieu worden onder andere opgevangen door de ademfrequentie aan te passen, door bepaalde plasma-eiwitten en door **buffers van hemoglobine** en **natriumwaterstofcarbonaat** (NaHCO_3). Deze bufferstoffen kunnen een tekort aan H^+ -ionen aanvullen of een overmaat opvangen.

Een verandering van de pH in het interne milieu ontstaat meestal doordat bij verhoogde activiteit van het lichaam meer H^+ -ionen aan het interne milieu worden afgegeven. De longen werken mee aan het handhaven van de pH door de ventilatie aan te passen. Een daling van de pH van het interne milieu (**acidose**) wordt tegengegaan door een versterkte afgifte van CO_2 ; een verhoging van de pH (**alkalose**) wordt gecompenseerd door een verminderde uitscheiding van CO_2 .

Het NaHCO_3 bevindt zich in de vloeistof tussen de cellen (interstitiële vloeistof) van het nierweefsel. Dit NaHCO_3 is volledig in Na^+ - en HCO_3^- -ionen gesplitst (zie afbeelding 52). De H^+ -ionen die vanuit het bloed de interstitiële vloeistof binnenkomen, worden gebonden door HCO_3^- -ionen. Daarbij ontstaat H_2CO_3 . Onder invloed van koolzuuranhydrase wordt H_2CO_3 op zijn beurt gesplitst in H_2O en CO_2 . Deze gaan de wandcellen van de nierbuisjes binnen. Ook in deze wandcellen bevindt zich koolzuuranhydrase.

► **Afb. 52** Regeling van de pH (KA = koolzuuranhydrase).

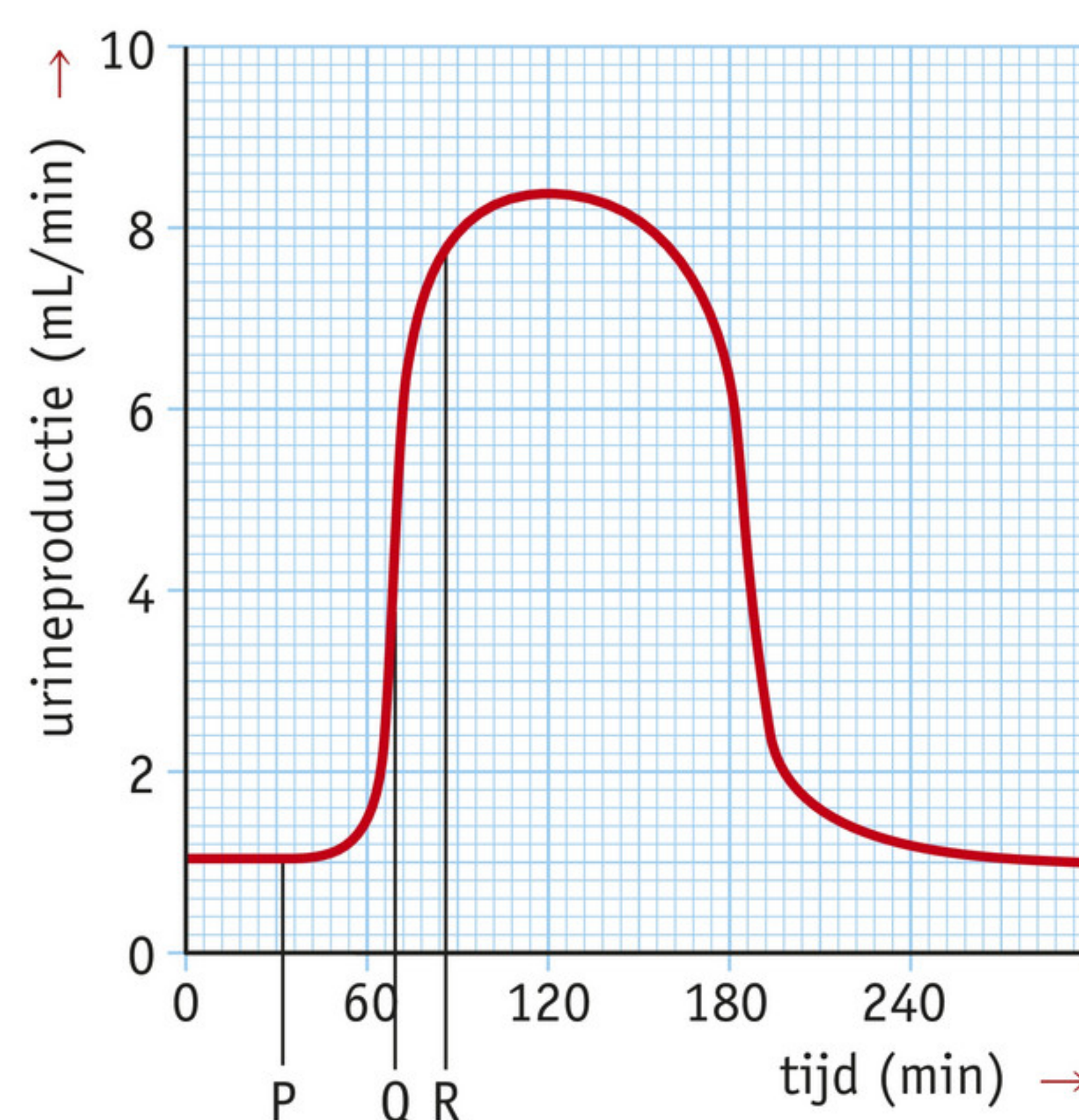


Nu vindt onder invloed van dit enzym het omgekeerde proces plaats: uit H_2O en CO_2 wordt H_2CO_3 gevormd. Dit H_2CO_3 valt direct uiteen in H^+ - en HCO_3^- -ionen. De wandcellen geven actief H^+ -ionen af aan de voorurine en nemen er gelijktijdig actief Na^+ -ionen uit op. Ze wisselen als het ware H^+ -ionen uit tegen Na^+ -ionen. De Na^+ -ionen worden samen met HCO_3^- -ionen actief naar de interstitiële vloeistof van het nierweefsel teruggeresorbeerd. Daar kunnen de HCO_3^- -ionen opnieuw H^+ -ionen oppikken. Door het actieve transport van H^+ -ionen kan de H^+ -ionenconcentratie van de urine in het verzamelbuisje wel $900\times$ zo hoog zijn als die van het bloedplasma. De pH van de urine is dan gedaald tot 4,5.

opdracht

- 36** Verschillende hormonen spelen een rol bij de vorming van urine.
- a** Het hormoon aldosteron heeft invloed op de Na^+ - en K^+ -concentratie van de urine.
Bevat de urine bij een hoge aldosteronspiegel van het bloed in verhouding veel of weinig natrium? En veel of weinig kalium? Leg je antwoord uit.
 - b** ADH wordt ook wel vasopressine genoemd (vasa = bloedvaten; pressare = drukken), omdat bij een zeer hoge concentratie ADH in het bloed de bloeddruk stijgt.
Leg uit hoe deze stijging van de bloeddruk ontstaat.
 - c** Onder invloed van ADH kan de urine van kleur veranderen.
Wordt de urine lichter of donkerder als de concentratie ADH toeneemt? Leg je antwoord uit.
 - d** In het diagram van afbeelding 53 is de urineproductie van een proefpersoon in rust gedurende een aantal uren weergegeven. Op tijdstip P drinkt deze persoon 1 liter water.
De concentratie van opgeloste stoffen in de gevormde urine op tijdstip Q wordt vergeleken met de concentratie van opgeloste stoffen op tijdstip 0.
Zal de concentratie op tijdstip Q waarschijnlijk lager zijn dan, gelijk zijn aan of hoger zijn dan de concentratie op tijdstip 0? Leg je antwoord uit.
 - e** Zal op tijdstip R de ADH-concentratie in het bloed van de proefpersoon lager zijn dan, gelijk zijn aan of hoger zijn dan de ADH-concentratie op tijdstip 0? Leg je antwoord uit.

► Afb. 53



CONTEXT

Leefwereld

Nefrotisch syndroom

▼ **Afb. 54** Kim Groenveld.



Kim Groenveld (16 jaar) lijdt al jaren aan het nefrotisch syndroom (zie afbeelding 54). ‘Toen ik 7 jaar was, kreeg ik opeens allerlei klachten, zoals een opgezet oog. De huisarts ontdekte dat ik te veel eiwit in mijn urine had, een teken dat je nieren niet goed werken. Een nier is eigenlijk een groot filter dat bestaat uit allemaal kleine filters. Bij mij zijn sommige kleine filters beschadigd en daardoor komen er afvalstoffen in mijn bloed. Ik moest meteen door naar het ziekenhuis en kreeg prednison.

Het gaat nu goed met me, maar mijn nier werkt maar voor 20%. Als een nier voor 12% werkt, moet je aan transplantatie of dialyse gaan denken. We hebben pas geleden de eerste verkennende gesprekken gevoerd over een transplantatie. Mijn vader heeft dezelfde bloedgroep als ik en laat nu onderzoeken of hij mogelijk een nier aan mij kan afstaan. Mocht ik een transplantatie krijgen, dan moet ik weer een hoge dosis prednison slikken. Dat ik dan weer zo opgeblazen word, vind ik erger dan de vraag of het lukt of niet. Ik hoop gewoon dat ze tegen die tijd een ander medicijn hebben gevonden.’

Naar: www.nierstichting.nl.

opdracht

- 37 Kim heeft het over filters.
- a Wat is de naam van de kleine filters?
 - b Kim zegt dat bij haar sommige kleine filters zijn beschadigd en dat er daardoor afvalstoffen in haar bloed komen.
Leg uit dat deze uitspraak niet juist is.
 - c De huisarts ontdekte te veel eiwit in de urine van Kim.
Leg uit dat te veel eiwit in de urine een teken is dat de nieren niet goed werken.
 - d Prednison is een ontstekingsremmer. Een van de bijwerkingen is dat prednison de zoutafgifte van de nieren remt.
Leg uit wat dat te maken heeft met Kims opmerking dat ze van prednison zo ‘opgeblazen’ wordt.

Leerdoelen

- Je kunt de bouw en functie van de huid beschrijven.
- Je kunt uitleggen hoe het interne milieu (lichaamstemperatuur) min of meer constant wordt gehouden door de huid (homeostase).

5

De huid

Je huid is het grootste orgaan van je lichaam. Hij weegt bij elkaar meer dan elk ander orgaan. Je huid beschermt je lichaam tegen invloeden van buiten en zorgt ervoor dat je lichaam op de juiste temperatuur blijft.

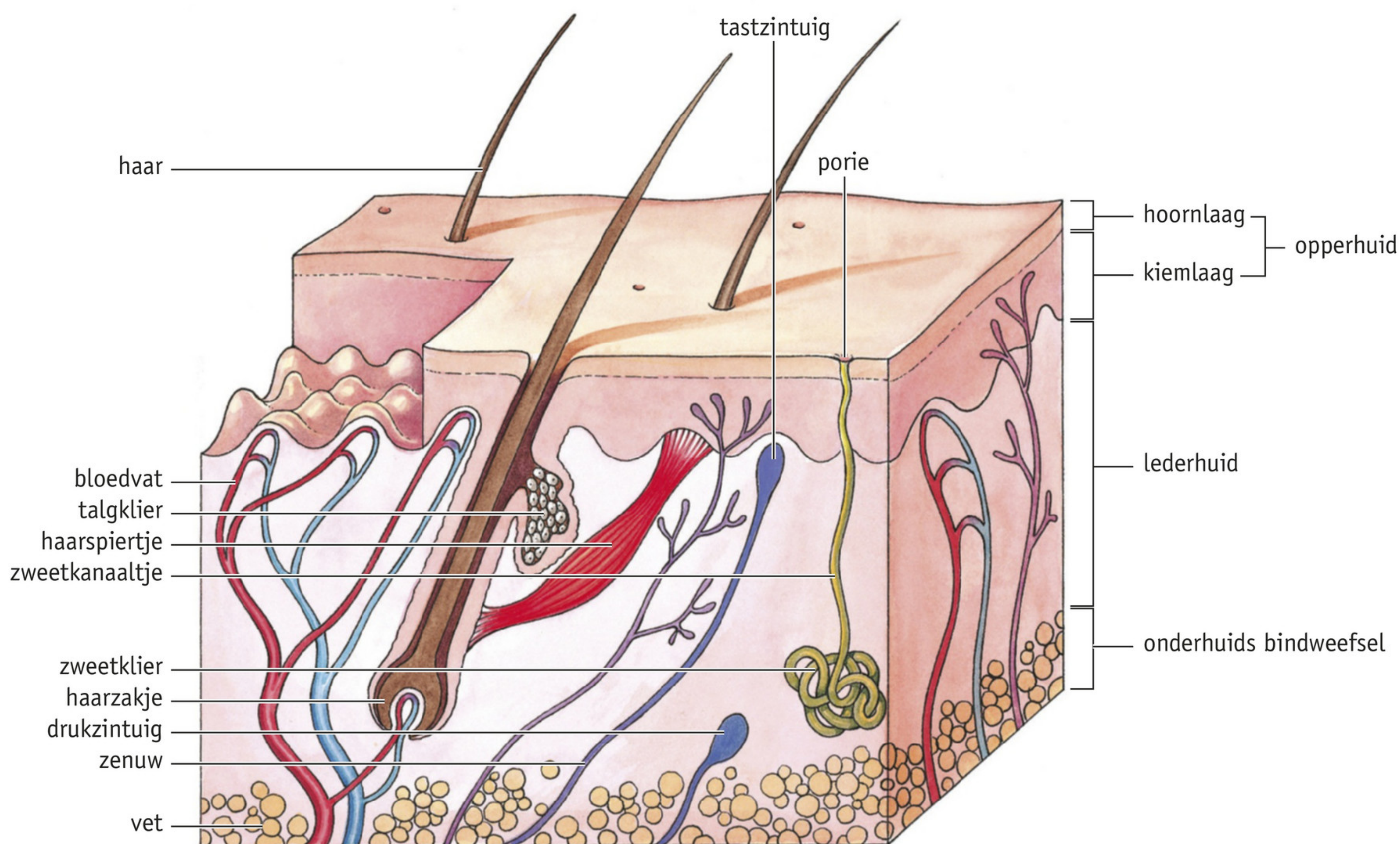
DE HUID EN HET ONDERHUIDSE BINDWEEFSEL

De huid bestaat uit twee lagen: de opperhuid en de lederhuid (zie afbeelding 55).

De **opperhuid** wordt gevormd door de hoornlaag en de kiemlaag.

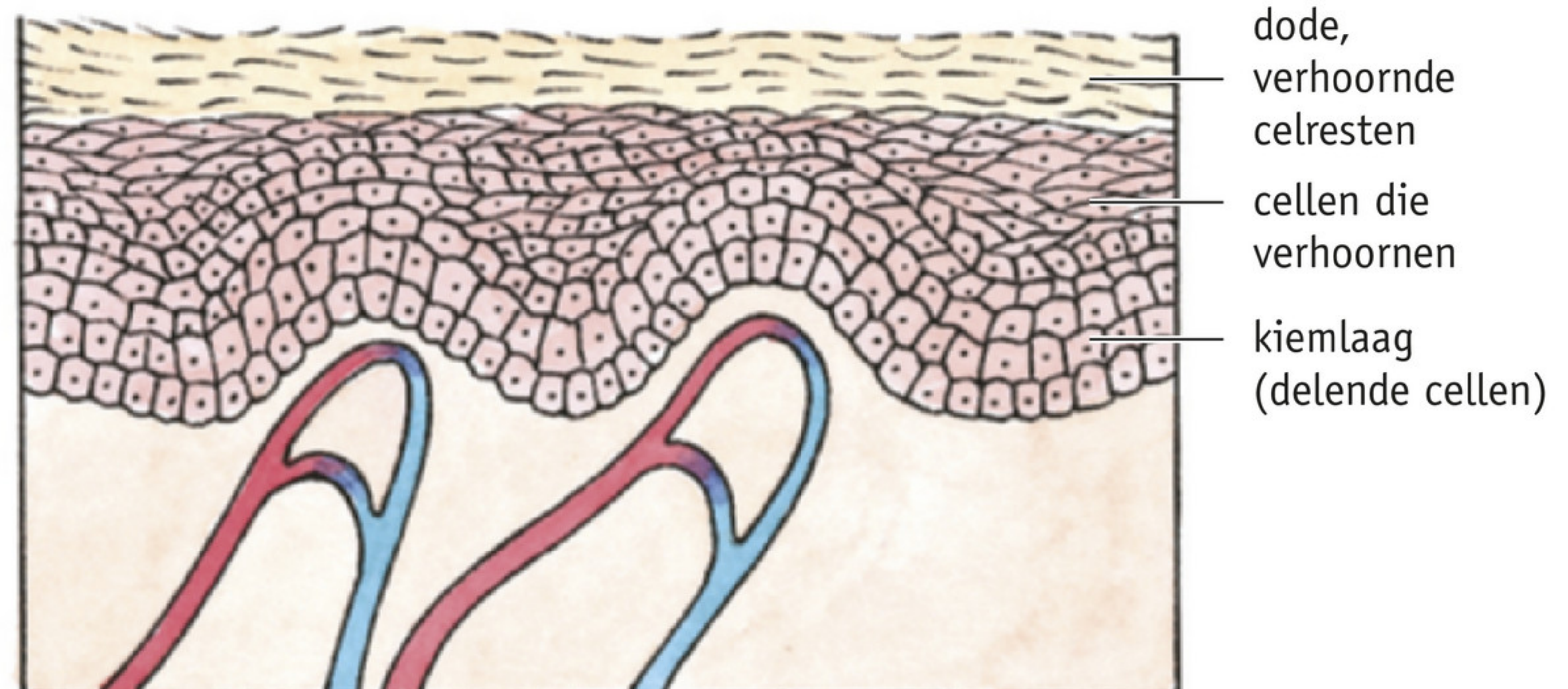
De **hoornlaag** bestaat uit dode, verhoornde epitheelcellen (dekweefselcellen). De hoornlaag beschermt tegen beschadiging, uitdroging en infecties. De hoornlaag slijt aan de buitenkant steeds af. Op sommige plaatsen wordt de hoornlaag extra dik (eelt).

▼ **Afb. 55** De huid en het onderhuidse bindweefsel (schematisch).



De **kiemlaag** bestaat uit levende epitheelcellen. De onderste laag cellen van de kiemlaag deelt zich voortdurend. De bovenliggende lagen cellen schuiven op naar buiten, verhoornen en sterven af (zie afbeelding 56).

► **Afb. 56** De verhoorning van de opperhuid (schematisch).

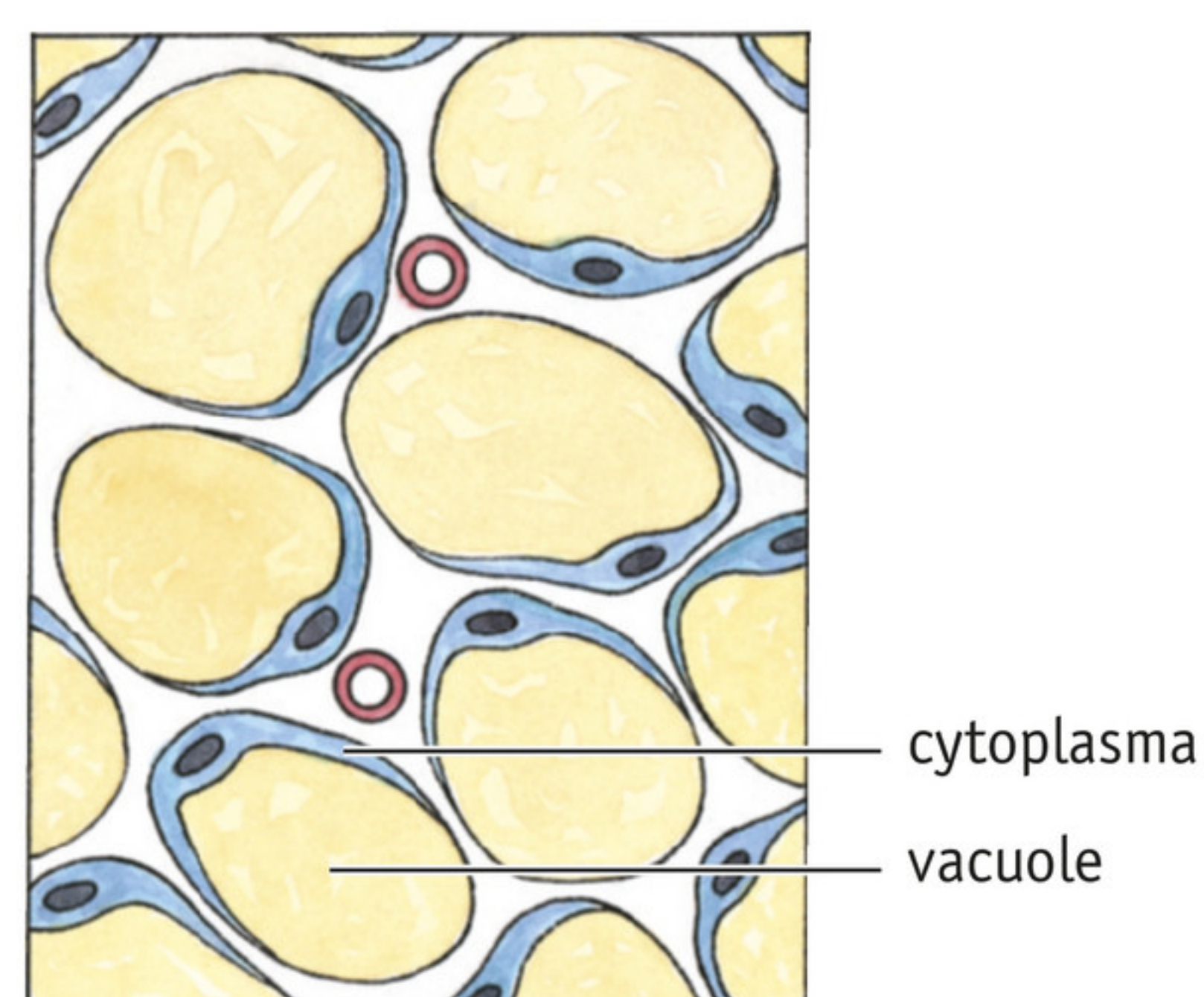


In de opperhuid liggen geen bloedvaten. De epitheelcellen krijgen voedingsstoffen en zuurstof via de weefselvloeistof vanuit de lederhuid. In de kiemlaag liggen pigmentvormende cellen.

Door de opperhuid heen groeien haren. Haren groeien vanuit **haarzakjes** (uitstulpingen van de kiemlaag in de lederhuid). In haarzakjes bevinden zich **talgklieren** die talg afscheiden. **Talg** is een vette stof die het haar en de hoornlaag soepel houdt.

In de **lederhuid** liggen neuronen, uitlopers van neuronen, haarspiertjes, bloedvaten en zweetklieren. Onder de huid ligt het onderhuidse bindweefsel. Het onderhuidse bindweefsel is verspreid over het hele lichaam, behalve waar de huid dun is, zoals op de oogleden, tepels, geslachtsorganen en het scheenbeen. In het onderhuidse bindweefsel ligt vet opgeslagen in vetcellen (zie afbeelding 57). Dit zijn relatief grote cellen (ongeveer 0,1 mm) met een grote vacuole waarin het vet is opgeslagen. Het onderhuidse bindweefsel beschermt vitale organen en het vet zorgt voor isolatie.

► **Afb. 57** Vetcellen.



THERMOREGULATIE

Organismen kunnen de gewenste lichaamstemperatuur herstellen of in stand houden door thermoregulatie. **Thermoregulatie** is het herstellen of in stand houden van de gewenste lichaamstemperatuur door een organisme. Elk organisme heeft een ideale temperatuur en een onder- en bovengrens. Bij oververhitting of onderkoeling kunnen de vitale lichaamsfuncties afnemen.

Bij de mens wordt de regeling van de lichaamstemperatuur aangestuurd door de hypothalamus. De huid speelt hierbij een belangrijke rol. In de hypothalamus bevindt zich een temperatuurzintuig dat de temperatuur van het langsstromende bloed registreert. Informatie over de temperatuur van de omgeving en van de buitenkant van het lichaam ontvangt de hypothalamus van de koude- en warmtezintuigen in de lederhuid.

Het lichaam geeft via de huid warmte af aan de omgeving. Deze warmteafgifte is groter naarmate het verschil tussen de temperatuur van de huid en de omgevingstemperatuur groter is. De temperatuur van de huid kan worden geregeld door de bloedvaten in de huid te verwijden. Daardoor stroomt er meer (warm) bloed door de huid, waardoor de warmteafgifte van het lichaam wordt vergroot.

Warmteafgifte vindt ook plaats door uitscheiding van zweet door de huid. **Zweet** wordt geproduceerd door de **zweetklieren** in de lederhuid en bestaat voornamelijk uit water en zouten. Zweet wordt uitgescheiden via de poriën. Door verdamping van het water uit zweet wordt warmte aan het lichaam onttrokken. Zweet bevat ook geurstoffen (feromonen). Huidbacteriën halen voedingsstoffen uit zweet. De afvalstoffen die de bacteriën produceren, veroorzaken zweetlucht.

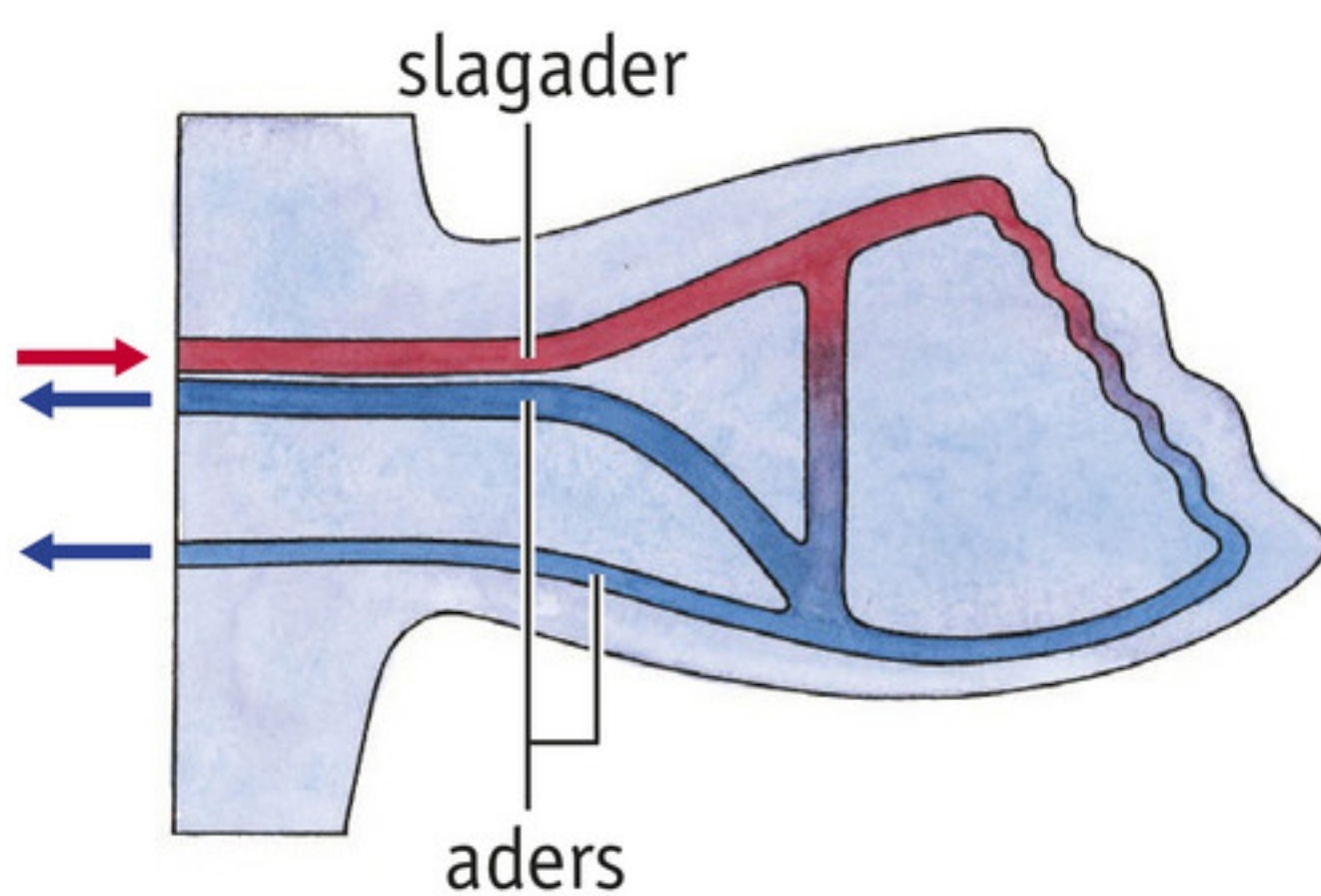
In een koude omgeving geeft het lichaam minder warmte af doordat bloedvaten in de huid vernauwen. Ook wordt er minder zweet geproduceerd en gaan de lichaamsharen rechtop staan: 'kippenvel'. Dit gebeurt door samentrekking van kleine spiertjes aan de haarzakjes. Door de rechtopstaande haren vermindert de stroming van lucht langs de huid en wordt warmte beter vastgehouden. Dit effect is bij mensen echter te verwaarlozen, omdat de beharing van het lichaam gering is.

De hoeveelheid warmte die een lichaam kan vasthouden of afgeven, hangt af van de verhouding tussen het lichaamsoppervlak en het volume (inhoud) ervan. Als het oppervlak vergeleken met de lichaamsinhoud groot is, verliest een organisme gemakkelijk veel warmte. Is de verhouding omgekeerd, dan houdt het organisme gemakkelijk warmte vast.

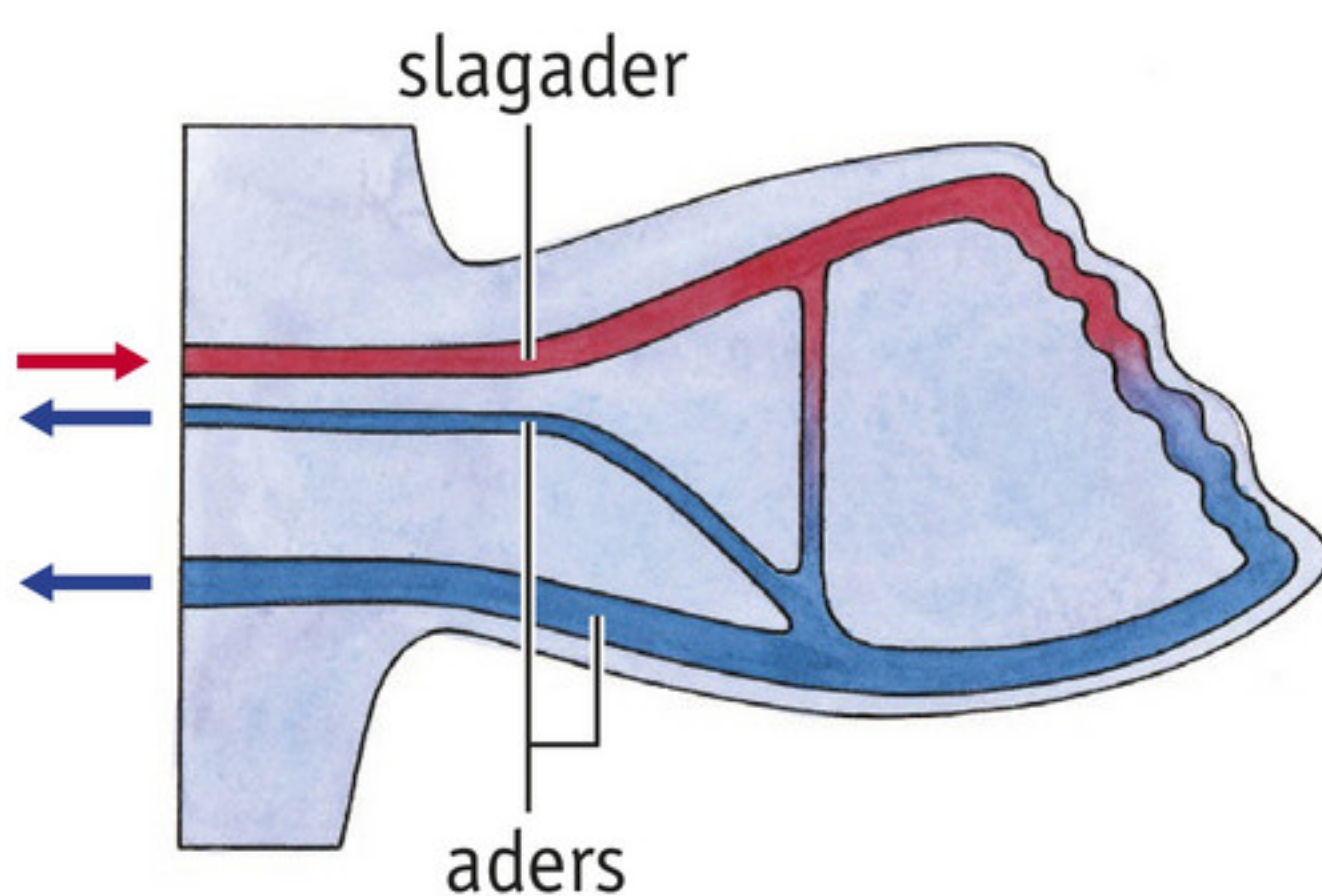
opdrachten

- 38** De reddingsbrigade langs de Nederlandse kust waarschuwt elk voorjaar zwemmers die een duik willen nemen in zee voor hypothermie (onderkoeling). Bij een zeewatertemperatuur van 5 °C ben je in zwemkleding binnen een halfuur onderkoeld. Toch is dit maar een ruwe schatting, omdat er geen wetmatigheden zijn over de overlevingskansen in water. De werkelijke overlevingstijd hangt af van veel factoren, zoals lichaamsbouw, hoeveelheid onderhuids vet, gebruik van alcohol, kleding, geslacht, windsnelheid en lichamelijke conditie.
- a** Verklaar waarom kinderen eerder te maken hebben met hypothermie dan volwassenen.
 - b** Verklaar het verschil in overlevingstijd in water tussen mannen en vrouwen.
 - c** Welke invloed heeft het gebruik van alcohol op de overlevingstijd in het water? Leg je antwoord uit.
 - d** Leg uit waarom het niet verstandig is om zeewater te drinken terwijl je op hulp wacht.

▼ **Afb. 58** Tegenstroomprincipe bij een ledemaat van een zoogdier bij verschillende omgevingstemperaturen (schematisch).



1



2

- 39 Het aantal zweetklieren bij een volwassen persoon wordt geschat op twee tot drie miljoen. Ze zijn niet gelijkmatig over de huid verspreid. In de huid van de handpalmen en voetzolen, van de rug en oksels en van het voorhoofd bevinden zich veel zweetklieren.
Wanneer je veel zweet, verandert de osmotische waarde van het bloed. Hoe zorgt het lichaam door negatieve terugkoppeling ervoor dat de waterhuishouding wordt hersteld? Gebruik in je antwoord de woorden: *ADH – osmoreceptoren – osmotische waarde*.
- 40 Dieren zijn meestal goed aangepast aan hun leefomgeving.
- Grote pinguïns leven in koude gebieden en de kleine soorten in minder koude gebieden.
Verklaar dit verschil.
 - Olifanten koelen niet zo gemakkelijk af via de huid door een dikke hoornlaag.
Welke aanpassing zorgt ervoor dat olifanten kunnen afkoelen ondanks hun grootte en dikke hoornlaag?
 - Muizen zijn actieve dieren en constant op zoek naar voedsel.
Hoe kun je dit gedrag verklaren op basis van hun oppervlak en volume?
 - Vogels hebben geen zweetklieren, maar gebruiken hun snavel als koelsysteem. Op het heetst van de dag begint een struisvogel spontaan te hijgen. Het 'koelhijgen' heeft niets te maken met buiten-adem-zijn na lichamelijke inspanning.
Leg uit dat het 'koelhijgen' dezelfde functie heeft als zweten.
- 41 In de ledematen van bepaalde zoogdieren kan het bloed in de richting van het hart worden vervoerd door aders die aan de oppervlakte liggen, en door aders die dicht langs de slagaders lopen (zie afbeelding 58).
- Welke verschillen zijn er tussen de bloedvaten in de twee afbeeldingen?
 - In welke afbeelding is de warmte-uitwisseling tussen het bloed in de slagader en het bloed in de ernaast gelegen ader het grootst?
 - In welke afbeelding is de omgevingstemperatuur het laagst? Leg je antwoord uit.

CONTEXT

Leefwereld

- ▼ **Afb. 59** Het is een misvatting dat je zo veel mogelijk moet drinken bij een marathon.



De Nijmeegse Vierdaagse

Bij lichamelijke inspanning zweet je. Zweet bevat behalve water ook zouten. Normaal is het verlies van zouten geen probleem. ‘Dat verlies aan zouten vul je moeiteloos aan door de pizza die er ’s avonds weer in gaat,’ zegt Hein Daanen, hoogleraar thermofysiologie aan de VU en onderzoeker bij TNO. ‘De waterkanaltjes in de zweetklieren pompen bovendien een deel van de zouten terug. De lichaamsvloeistof wordt zouter en daardoor is het zweet op de huid minder zout dan onze lichaamsvloeistof. Wie veel zweet, moet dus juist geen extra zout eten, want dat versterkt het probleem. Je moet wel voldoende water drinken,’ aldus Daanen.

Dat is anders als je in de hitte bijvoorbeeld de Vierdaagse loopt. Bij een onderzoek stelden Nijmeegse artsen vast dat 5% van de deelnemers aan de Vierdaagse een tekort aan zouten had. Sommige lopers hadden wel twaalf liter water gedronken. ‘Wie zoveel drinkt, heeft wél wat extra zout nodig,’ zegt Daanen. Het gevaar is dan niet dat je te veel zouten verliest, maar dat je te veel water drinkt. Door de overmaat aan water wordt de zoutconcentratie te laag met een watervergiftiging als gevolg. Marathonlopers hebben dit niet altijd overleefd.

Naar: *de Volkskrant*, 17 juli.

opdracht

- 42** Niet alleen door een marathon of de Nijmeegse Vierdaagse kun je een watervergiftiging oplopen. Ook bezoekers van grote dancefeesten die xtc hebben gebruikt kunnen een watervergiftiging oplopen (zie Ontdekken).
- De osmotische waarde van intercellulair vocht daalt als gevolg van een watervergiftiging.
Welk gevolg heeft dit voor de lichaamscellen zelf?
 - Vooraf hersencellen ondervinden het gevaar van een watervergiftiging. Dit kan onder andere leiden tot hoofdpijn, een verlaagd bewustzijn en zelfs een coma.
Geef een verklaring voor deze verschijnselen.
 - Marathonlopers en wandelaars van evenementen als de Vierdaagse moeten afgaan op hun dorstgevoel. Xtc-gebruikers moeten dit juist niet doen.
Verklaar dit verschil.
 - Hein Daanen is thermofysioloog.
Zoek op internet uit wat een thermofysioloog bestudeert.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingsstof doen.

Leerdoelen

- Je kunt het nut van uitscheiding toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair en ecologisch denken toepassen op de samenwerking van uitscheidingsorganen bij het handhaven van de homeostase.

► **Afb. 1** Een rijk banket.

De koningsziekte

Veel staatslieden, koningen en hun hofhouding, edelen en priesters hadden vroeger last van een ontstoken grote teen. Hoe kwamen zij daaraan? Speelde de wijn, die rijkelijk vloeide, een rol? Of de overvloedige maaltijden? En klopt het dat deze ‘koningenziekte’ inderdaad alleen voorkomt bij welgestelde mensen?

Toen de Britten in 1703 Portugese port gingen drinken in plaats van Franse wijn, brak een epidemie uit van de ‘koningenziekte’ onder de edelen. De wijn was verscheept in vaten gemaakt van het zware metaal lood. Nu hoeft dat geen probleem te zijn; ons lichaam zit vol met zware metalen. Vaak vormen ze de actieve centra van enzymen. Maar de ellende met zware metalen, zoals lood en cadmium, is dat ze onze eigen zware metalen verdringen, zodat de enzymen worden geïnactiveerd. Dat is bijvoorbeeld het geval in de nieren, die daardoor hun werk niet meer goed kunnen doen.

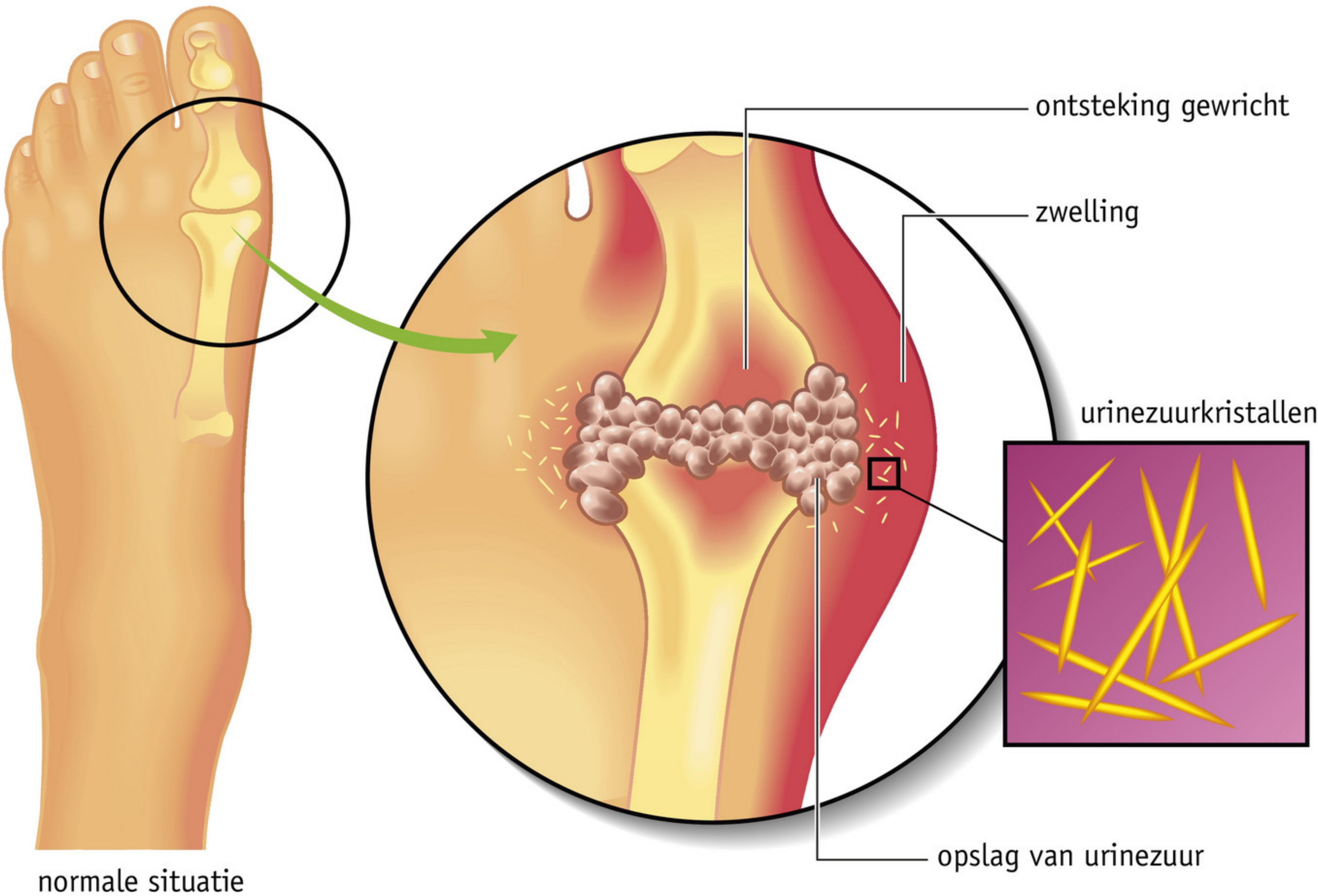


Ook via het voedsel krijgen we zware metalen binnen. Zware metalen hopen zich op in de voedselketen, doordat ze niet afbreekbaar zijn. Gelukkig raken we ze kwijt via onze haren, nagels en huid, via de nieren en via de gal. Maar niet alles raken we kwijt. Een deel komt terecht in de lever en wordt daar opgeslagen. Tja, en als je die dan eet ...

Nu stonden juist bij de welgestelden regelmatig ganzenlever, patrijs, wildgebraad, kreeft, zalm, tonijn en asperges op het menu (zie afbeelding 1). Wat al dat lekkers gemeen heeft, is dat het een hoog gehalte aan restanten van DNA heeft die bij de spijsvertering vrijkomen. Hiervan worden adenine en guanine door enzymen omgezet in urinezuur. En juist urinezuur dreigt de homeostase van het bloed te verstoren.

Normaal houdt NaHCO_3 de pH van het bloed binnen de perken. Komt er een teveel aan urinezuur, dan wordt dat uitgescheiden door de nieren. En als de nieren het niet meer aan kunnen, dan kristalliseert het urinezuur. Het urinezuur wordt opgeslagen, vooral in de gewrichten van handen en voeten. Eén minpuntje: de kristallen van urinezuur zijn naaldvormig. En dát voelt de koning in zijn grote teen. Tegenwoordig weten we dat het gaat om jicht en dat iedereen het kan krijgen (zie afbeelding 2).

Afb. 2 Jicht in de voet.



opdrachten

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- 1

Noteer begrippen uit de tekst bij het juiste organisatieniveau.
- 2

Jicht ontstaat door een overmaat aan urinezuur.

a

Door welke twee oorzaken ontstaat die overmaat?

b

Urinezuur kristalliseert vooral in de gewrichten van handen en voeten. Leg uit waarom juist in deze delen.

c

Bij de behandeling van een tumor door chemotherapie ontstaat dikwijls een overmaat aan urinezuur. Geef hiervoor een verklaring.
- 3

Zalm en tonijn zijn roofvissen.

a

Hoe komt het dat je via deze vissen meer kans hebt om zware metalen binnen te krijgen?

b

Lood kun je niet alleen via het voedsel binnenkrijgen, maar ook via je longen. Bij de uitvoering van sommige beroepen heb je zelfs meer kans op de inademing van lood. Geef twee voorbeelden van risicoberoepen. Maak hierbij gebruik van internet en de zoekterm ‘beroepsziekte’.

c

In de loop van de evolutie is door een mutatie het enzym uricase bij de mens verloren gegaan. Geef de functie van uricase en leg uit hoe het komt dat bij mensen wel jicht voorkomt en bij de andere zoogdieren niet.

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een vissenkop
- een schoteltje
- prepareermateriaal
- een petrischaal met water
- een loep

▼ Afb. 1 Kieuwdeksel.



practicumopdracht 2

MATERIAAL

- een spirometer
- een glazen klok

Practica

Kieuwen van een vis

►► BASISSTOF 1

Bij vissen vindt gaswisseling plaats in kieuwen die vlak achter de kop liggen. In deze practicumopdracht bekijk je met een loep de kieuwen en maak je drie schematische tekeningen.

METHODE

- Licht met een pincet het kieuwdeksel op (zie afbeelding 1). Je ziet de kieuwen liggen.
- Knip voorzichtig het kieuwdeksel weg.
- Maak een tekening van de kieuwen in de kieuwholte. Geef de kieuwen aan.
- Leg de vissenkop ondersteboven en knip de mondbodem voorzichtig open. Je ziet links en rechts de kieuwen aan de kieuwbogen vastzitten.
- Maak een tekening.
- Knip voorzichtig één kieuw los en leg deze in het water in de petrischaal. Bekijk de kieuw met een loep.
- Maak een tekening van een losse kieuw en geef de volgende delen aan: *kieuwboog – kieuwlamel – kieuwplaatje*.

RESULTAAT

Drie schematische tekeningen van de kieuwen.

Bepaling van de vitale capaciteit

►► BASISSTOF 2

Jongens zijn gemiddeld groter dan meisjes. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van het geslacht op de vitale capaciteit van de longen.

ONDERZOEKSVRAAG

Hebben jongens gemiddeld grotere longen en dus ook een grotere vitale capaciteit dan meisjes?

HYPOTHESE

Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Bedenk een hypothese voordat je aan het experiment begint.
- 2 Waarop is je hypothese gebaseerd?

METHODE

Alle leerlingen uit de klas bepalen hun vitale capaciteit door zo diep mogelijk in te ademen en daarna zo diep mogelijk uit te ademen in de spirometer (zie afbeelding 2) of met de rubberslang in de glazen klok (zie afbeelding 3.2).

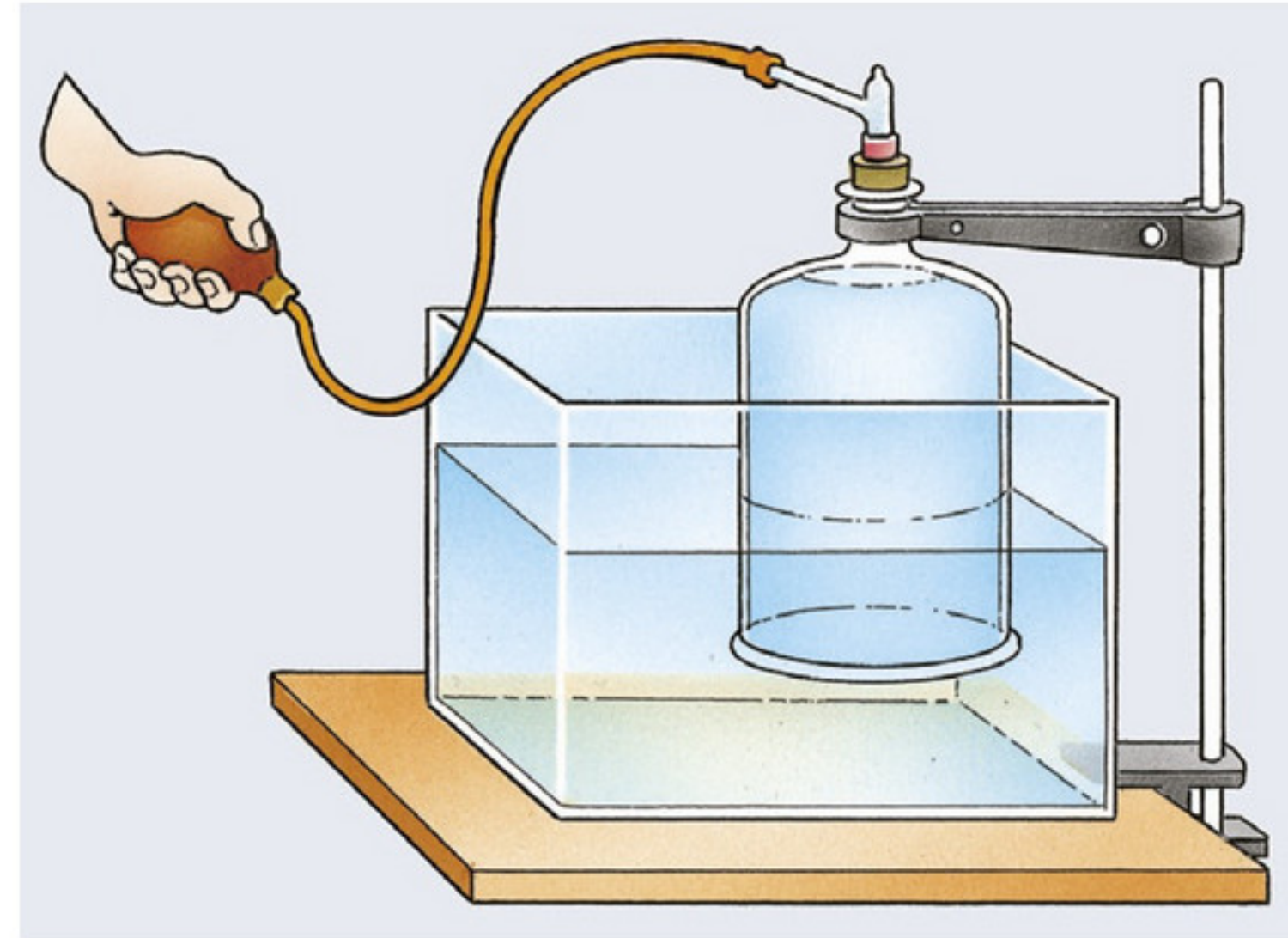
Als je de klok gebruikt, zuig dan eerst met de ballon de lucht uit de klok en sluit het kraantje (zie afbeelding 3.1).

Noteer van iedereen de vitale capaciteit.

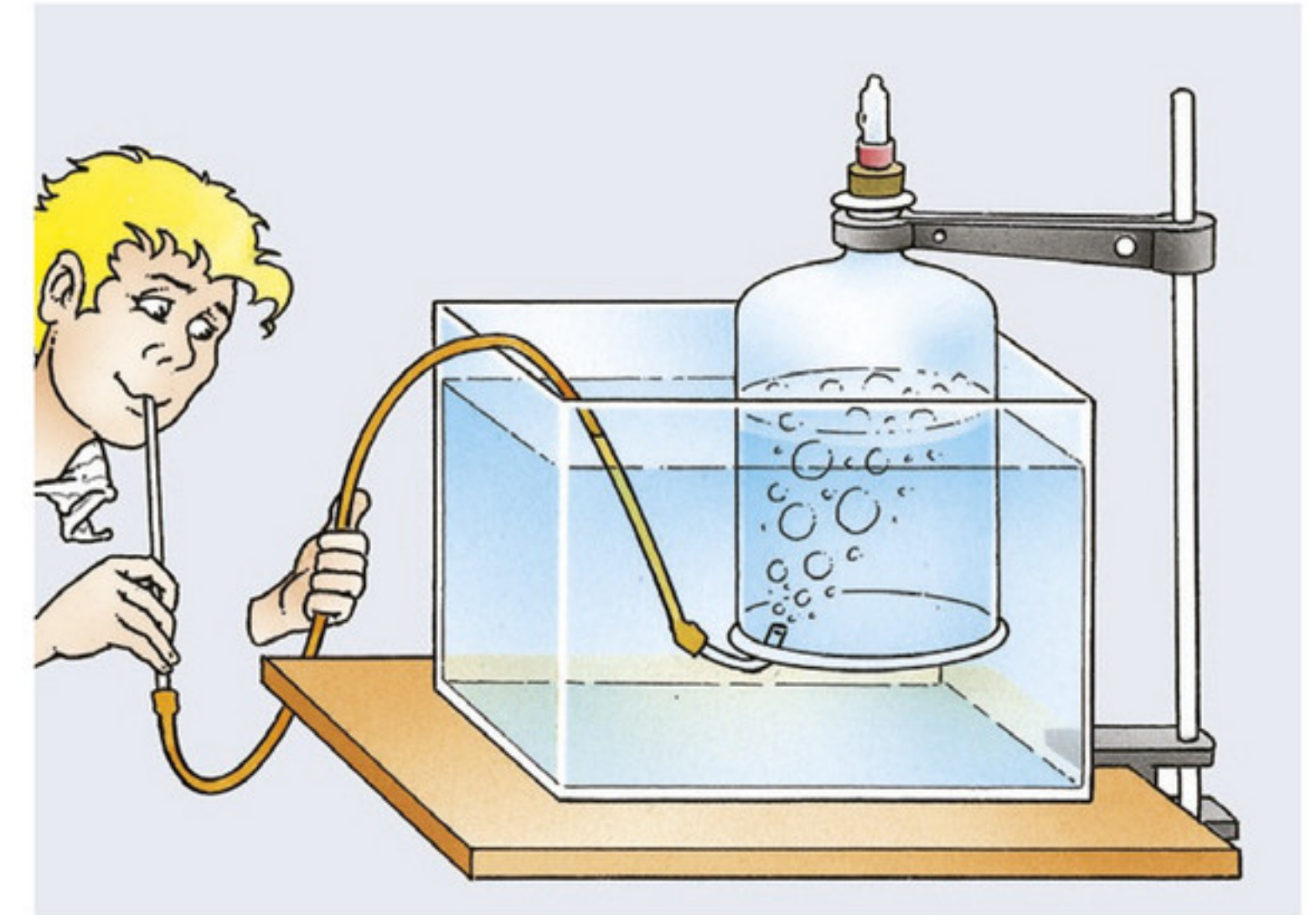
▼ Afb. 2 Spirometer.



▼ Afb. 3 De vitale capaciteit bepalen.



1 de klok leegzuigen



2 in de klok uitademen

Beantwoord de volgende vraag.

3 Welke materialen heb je naast de spirometer of glazen klok nodig?

RESULTAAT

- Maak met de resultaten een schema. Gebruik daarbij aparte kolommen voor jongens en meisjes.
- Bereken van jongens en meisjes de gemiddelde vitale capaciteit.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

4 Vergelijk de gemiddelde waarden. Zijn de uitkomsten in overeenstemming met je verwachting?

practicumopdracht 3

MATERIAAL

- een gymzaal met daarin afbakeningen op 20 m afstand van elkaar
- een geluidsfragment met piepjes voor de shuttlerun
- een computer of laptop

Relatie tussen vitale capaciteit en uithoudingsvermogen

►► BASISSTOF 2

Uithoudingsvermogen is in de evolutie van de mens sterk ontwikkeld. Jagers renden uren achter een prooi aan die wel sneller was, maar het niet zo lang kon volhouden. In deze practicumopdracht onderzoek je de relatie tussen de vitale capaciteit en het uithoudingsvermogen. Hierbij wordt het uithoudingsvermogen bepaald met een shuttleruntest.

ONDERZOEKSVRAAG

Hebben personen met een groot uithoudingsvermogen gemiddeld een grotere vitale capaciteit dan personen met een minder groot uithoudingsvermogen?

HYPOTHESE

1 Formuleer een hypothese.

METHODE

- Voer de shuttleruntest uit. De test werkt als volgt. Je rent tussen twee lijnen op 20 m afstand van elkaar heen en weer. Na elke minuut hoor je een piepje en gaat de snelheid met 0,5 km/h omhoog (een hele trap). In totaal zijn er twintig trappen. Bij het keerpunt zet je één voet op de lijn en rent dan weer terug met een zo kort mogelijke draai. Je stopt met de test als je voelt dat je moet stoppen of als je drie keer achter elkaar te laat op de lijn komt.
- Noteer de trap die je als laatste hebt gehaald.
- Maak een tabel met drie kolommen: naam, trap en vitale capaciteit (L).

- Noteer de gegevens van alle klasgenoten in een tabel. De vitale capaciteit neem je over uit practicumopdracht 2.
- Maak (met Excel of een vergelijkbaar programma) een spreidingsgrafiek van de resultaten.
- Onderzoek of er sprake is van een lineair verband tussen de trappen en de vitale capaciteit door het toevoegen van een lineaire trendlijn. Zo'n trendlijn gebruik je om een regelmatige stijging of daling weer te geven.
- Onderzoek de betrouwbaarheid van dit verband door het toevoegen van de R^2 -waarde. Een trendlijn is het meest betrouwbaar als de R^2 -waarde 1 is of 1 benadert.

RESULTAAT

Grafiek met lineaire trendlijn en R^2 .

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 2 Welke conclusie kun je op basis van de grafiek trekken over het verband tussen de vitale capaciteit en het uithoudingsvermogen bij de leerlingen in je klas?
- 3 Bevestigt jouw conclusie je hypothese? Zo nee, hoe kun je dit verklaren?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 4 Hoe betrouwbaar is het uitgevoerde onderzoek?

practicumopdracht 4

MATERIAAL

- een vast preparaat van leverweefsel
- een microscoop

Leverweefsel

►► BASISSTOF 3

De lever bestaat uit heel veel zeshoekige leverlobjes. In deze practicumopdracht bekijk je met een microscoop een leverpreparaat en maak je een schematische tekening.

METHODE

- Bekijk een vast preparaat van leverweefsel bij een vergroting van $400\times$.
- Zoek een leverlobje op.
- Teken een leverlobje.
- Zet de namen bij de delen.

RESULTAAT

Een schematische tekening van een leverlobje.

practicumopdracht 5

MATERIAAL

- een bekglas van 250 mL
- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- een doorboorde kurk
- een kunststof slangetje
- een weegschaal
- een stukje lever
- een stukje biefstuk
- een mortier en een vijzel
- scherp zand
- waterstofperoxideoplossing (H_2O_2) van 3%

Katalase in lever en spierweefsel

►► BASISSTOF 3

Onder invloed van katalase wordt waterstofperoxide afgebroken tot water en zuurstof volgens $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Het enzym komt bij veel soorten organismen voor. Alle cellen van een organisme bezitten dit enzym, maar is de hoeveelheid gelijk? In deze practicumopdracht onderzoek je of lever en spierweefsel per gram evenveel katalase bevatten.

ONDERZOEKSVRAAG

Bevatten lever en spierweefsel per gram evenveel katalase?

HYPOTHESE

Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Bedenk een hypothese voordat je aan het experiment begint.
- 2 Waarop is je hypothese gebaseerd?

METHODE

- Maak een proefopstelling zoals in afbeelding 4 is weergegeven.
- Vul reageerbuis 1 nog niet. Vul reageerbuis 2 met water.
- Weeg een stukje lever van 1 g af.
- Wrijf het stukje lever fijn in de mortier met scherp zand. Breng dit mengsel in reageerbuis 1.
- Breng 5 mL waterstofperoxide in reageerbuis 1. Pas op met morsen! Plaats de reageerbuis onmiddellijk in het rek.
- Meet na 20 seconden de hoogte van de gasbel in reageerbuis 2.
- Noteer je resultaten in een tabel.
- Herhaal de proef met een stukje biefstuk van 1 g.

RESULTAAT

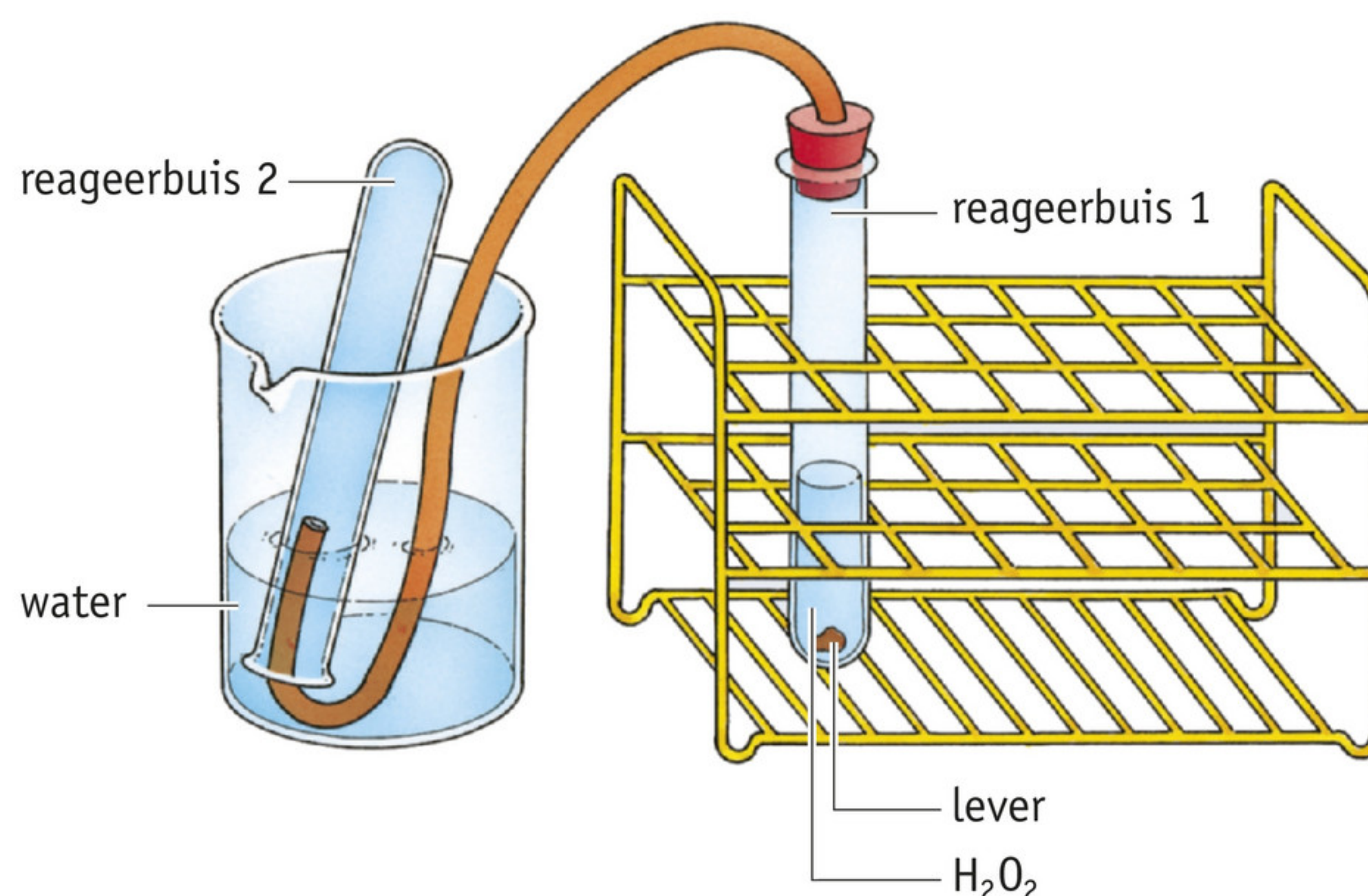
Een tabel met de resultaten.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 3 Welke conclusie kun je trekken?
- 4 Bevestigt jouw conclusie je hypothese? Zo nee, hoe kun je dit verklaren?

► **Afb. 4** Proefopstelling om de hoeveelheid katalase te bepalen.



Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt van delen van het ademhalingsstelsel de functies en kenmerken noemen.

- Neusholte met reukzintuig en bekleed met neusslijmvlies.
 - In de neusholte wordt lucht gereinigd, gekeurd, verwarmd en vochtig gemaakt.
- Trilhaarepitheel met slijmproducerende cellen en trilhaarcellen.
 - Aan het slijm blijven kleine stofdeeltjes en ziekteverwekkers kleven.
 - Het slijm wordt door de beweging van trilharen naar de keelholte verplaatst.
- Luchtpijp met trilhaarepitheel.
 - Door hoefijzervormige kraakbeenringen in de wand blijft de luchtpijp openstaan.
- Bronchiën met trilhaarepitheel en kraakbeenringen.
- Bronchiolen: kunnen zich door spierweefsel in de wand verwijden of vernauwen.
- Longblaasjes (alveoli) met longhaarvaten.
 - In de longblaasjes vindt de gaswisseling plaats.
- Factoren die de uitwisselingssnelheid vergroten (vastgelegd in de wet van Fick):

$$n = D \times A \times \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Hierin is:

n = diffusiesnelheid;

D = diffusiecoëfficiënt ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$);

A = diffusieoppervlak (m^2);

Δc = concentratieverschil ($c_1 - c_2$ in $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$) of

Δp = drukverschil ($p_1 - p_2$);

Δx = diffusieafstand (m).

- Groot diffusieoppervlak door de vele longblaasjes.
- Kleine diffusieafstand door de dunne wand van longblaasjes en longhaarvaten.
- Groot verschil $p\text{O}_2$ en $p\text{CO}_2$: door verversen van de lucht in de longblaasjes en door stroming van het bloed langs de longblaasjes.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 1

Je kunt beschrijven hoe zuurstof en koolstofdioxide door bloed worden getransporteerd.

- In de longhaarvaten worden O_2 -moleculen gebonden aan hemoglobine in rode bloedcellen.
 - hemoglobine (Hb) + $\text{O}_2 \rightarrow$ oxyhemoglobine (HbO_2)
 - Door de binding van O_2 aan Hb blijft er een verschil bestaan tussen de $p\text{O}_2$ in het vocht in de longblaasjes en de $p\text{O}_2$ in het bloedplasma, waardoor meer zuurstof kan worden opgenomen.

- Door het concentratieverschil vindt diffusie van O_2 uit de haarvaten naar de weefsels en van CO_2 uit de weefsels naar het bloed plaats.
 - Een groot deel van dit CO_2 wordt door het bloedplasma vervoerd; een ander deel wordt gebonden aan hemoglobine.
 - In de longhaarvaten laten de CO_2 -moleculen los van de hemoglobine.
 - De pH van het bloed wordt beïnvloed door de CO_2 -concentratie. Wanneer de CO_2 -concentratie toeneemt, daalt de pH en komen er meer O_2 -moleculen vrij (Bohr-effect).

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 1

Je kunt bij insecten en vissen beschrijven hoe gaswisseling plaatsvindt en hoe zuurstof naar de cellen wordt getransporteerd.

- Insecten: gaswisseling in tracheeën.
 - Tracheeën zijn sterk vertakte buizen met stigmata (openingen).
 - Groot gaswisselingsoppervlak door sterk vertakte tracheeën.
 - Kleine diffusieafstand doordat zuurstof diffundeert via het vocht en via het bloed naar de cellen.
 - Groot concentratieverschil door ventileren van de lucht in de tracheeën door pompende bewegingen in het achterlijf.
- Vissen: gaswisseling in kieuwen.
 - Kieuwen bestaan uit kieuwbogen (met kieuwplaatjes en kieuwlamellen) en kieuwspleten.
 - Groot gaswisselingsoppervlak door veel kieuwlamellen.
 - Kleine diffusieafstand door dunne kieuwlamellen.
 - Groot concentratieverschil door voortdurend verversen van het water tussen de kieuwlamellen en door stroming van het bloed in de bloedvaatjes in de kieuwlamellen.
 - Tegenstroomprincipe: de stroomrichting van het water is tegengesteld aan die in het bloed. Hierdoor diffundeert meer zuurstof uit het water naar het bloed.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 2

Je kunt uitleggen op welke wijze longventilatie tot stand komt.

- Ademhalingsspieren.
 - De buitenste tussenribspieren trekken de ribben en het borstbeen omhoog en naar voren.
 - De binnenste tussenribspieren trekken de ribben en het borstbeen omlaag.
 - De middenrifspieren kunnen het middenrif afplatten.
- Borstvlies en longvlies.
 - Borstvlies: vergroeid met ribben, binnenste tussenribspieren en middenrif.

- Longvlies: vergroeid met longen.
- De ruimte tussen borstvlies en longvlies (interpleurale ruimte) is gevuld met vocht waardoor ze niet van elkaar af gaan.
- Longweefsel:
 - Is elastisch en verkeert in een uitgerekte toestand.
 - Hierdoor is de druk in de ruimte tussen borstvlies en longvlies lager dan de druk van de buitenlucht.
- Rustige inademing:
 - De tussenribspieren en de middenrifspieren vergroten het volume van de borstholte.
 - De luchtdruk in de longblaasjes wordt lager dan de druk van de buitenlucht.
 - Lucht stroomt de longen in.
- Rustige uitademing:
 - De tussenribspieren en de middenrifspieren ontspannen zich.
 - De ribben en het borstbeen keren terug in hun oorspronkelijke stand.
 - Door de druk in de buikholte keert het middenrif terug in zijn koepelvormige stand.
 - Het volume van de longen wordt kleiner.
 - De luchtdruk in de longblaasjes wordt hoger dan de druk van de buitenlucht.
 - Lucht stroomt de longen uit.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe het longvolume verandert tijdens ventilatiebewegingen.

- Ademvolume: de hoeveelheid lucht die bij een rustige ademhaling wordt in- en uitgeademd.
 - Een deel van de ingeademde lucht blijft achter in de luchtwegen (de dode ruimte). Deze lucht wordt ongebruikt weer uitgeademd.
- Vitale capaciteit: de hoeveelheid lucht die maximaal per ademhaling kan worden verplaatst en omvat:
 - het ademvolume;
 - het inspiratoir reservevolume: lucht die bij een maximale inademing extra wordt ingeademd;
 - het expiratoir reservevolume: lucht die bij een maximale uitademing extra wordt uitgeademd.
- Longcapaciteit (totale longvolume): vitale capaciteit + restvolume.
 - Restvolume: blijft na een maximale uitademing achter in de longen.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe de ademfrequentie wordt geregeld.

- Het ademcentrum in de hersenstam regelt de ademfrequentie.
- Chemoreceptoren in de wand van de halsslagaders en aorta nemen de $p\text{CO}_2$ van het bloed waar.

- Vanuit de chemoreceptoren gaan impulsen via zenuwen naar het ademcentrum.
- Vanuit het ademcentrum gaan impulsen via zenuwen naar de ademhalingsspieren.
- De snelheid en de diepte van de ventilatie worden aangepast.
- De chemoreceptoren worden beïnvloed door de $p\text{O}_2$ van het bloed.
 - Bij een lagere $p\text{O}_2$ van het bloed worden de chemoreceptoren gevoeliger voor de $p\text{CO}_2$ van het bloed.
- De grote hersenen kunnen de snelheid en diepte van de ademhaling bewust veranderen.

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 3

Je kunt de bouw, werking en functies van de lever beschrijven en je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de lever (homeostase).

- Leverlobje:
 - Centraal ligt een vertakking van de leverader.
 - In de hoekpunten liggen vertakkingen van de galgang, de leverslagader en de poortader.
 - Bloed komt van de hoekpunten terecht in ruimten tussen de levercellen en stroomt dan naar het midden van een leverlobje.
 - Gal stroomt van de levercellen naar de hoekpunten van een leverlobje.
- Galzuren emulgeren vetten en oliën.
- Afbraak van dode rode bloedcellen.
 - Galkleurstoffen worden met de gal uitgescheiden.
 - IJzer wordt opgeslagen.
- Koolhydraatstofwisseling: de glucoseconcentratie van het bloed wordt constant gehouden onder invloed van insuline en glucagon uit de alvleesklier.
 - Glucose kan worden omgezet in glycogeen.
 - Glycogeen wordt o.a. in de lever opgeslagen.
- Eiwitstofwisseling:
 - Vorming van niet-essentiële aminozuren uit andere aminozuren door transaminering.
 - Afbraak van overtollige aminozuren door desaminering. Hierbij ontstaat o.a. ureum.
- Vetstofwisseling:
 - Vorming van niet-essentiële vetzuren (uit andere vetzuren, aminozuren of monosachariden).
 - Vorming en afbraak van cholesterol.
- Synthese van plasma-eiwitten (o.a. stollingsfactor fibrinogeen en albumine).
- Detoxificatie (ontgiftiging) van o.a. alcohol, drugs en medicijnen.
 - Gifstoffen die niet onwerkzaam kunnen worden gemaakt, kunnen in de lever worden opgeslagen (bijv. kwik).

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 4**Je kunt de bouw, werking en functie van de nieren en de urinewegen beschrijven.**

- Functies van de nieren.
 - Uitscheiding van afvalstoffen, schadelijke stoffen en overtollige stoffen uit het bloed.
 - De verwijderde stoffen worden samen urine genoemd.
 - Constant houden van de osmotische waarde van het interne milieu.
- Urinewegen.
 - Urineleiders: afvoer van urine naar de urineblaas.
 - Urineblaas: tijdelijke opslag van urine.
 - Urinebuis: afvoer van urine naar buiten.
- Delen van een nier.
 - Nierschors: vorming van voorurine.
 - Niermerg: vorming van urine.
 - Nierbekken: verzamelen van urine.
 - Niereenheden liggen in nierschors en niermerg.
- Niereenheid (nefron).
 - Aanvoerende arteriole: vertakt zich tot een haarvatenkluwen (glomerulus) binnen het nierkapseltje.
 - Nierkapseltje (kapsel van Bowman): door ultrafiltratie ontstaat voorurine.
 - Afvoerende arteriole: vertakt zich tot een haarvatennet om het nierbuisje en voorziet de cellen van het nierbuisje van voedingsstoffen en zuurstof.
 - Nierbuisje: door actief transport vindt terugresorptie van nuttige stoffen uit de voorurine plaats, waardoor de osmotische waarde van het niermergweefsel hoger wordt dan die van het nierschorsweefsel.
 - Verzamelbuisjes: door de hoge osmotische waarde in het niermergweefsel wordt veel water aan de (voor)urine onttrokken, tijdens het transport naar het nierbekken.
- Bij de terugresorptie worden nuttige stoffen aan de voorurine onttrokken.
 - Voorurine bevat veel water met o.a. glucose, ionen en ureum (in een lage concentratie).
 - Urine bevat (minder) water met o.a. ionen en ureum (in een relatief hoge concentratie).

LEERDOEL 9 ►► BASISSTOF 4**Je kunt uitleggen hoe het interne milieu min of meer constant wordt gehouden door de nieren (homeostase).**

- Het antidiuretisch hormoon (ADH) uit de hypofyseachterkwab stimuleert de terugresorptie van water door verhoging van de permeabiliteit van de celmembranen van het laatste deel van de nierbuisjes en van de verzamelbuisjes.
 - De hypofyse reageert op osmoreceptoren in de hypothalamus (negatieve terugkoppeling).

- Veranderingen in de pH worden opgevangen door buffers: hemoglobine, plasma-eiwitten en natriumwaterstofcarbonaat (NaHCO_3).
 - De longen kunnen door aanpassing van de longventilatie de uitscheiding van CO_2 reguleren.

LEERDOEL 10 ►► BASISSTOF 5**Je kunt de bouw en functie van de huid beschrijven.**

- De huid bestaat uit opperhuid en lederhuid.
- Opperhuid: hoornlaag en kiemlaag.
 - Hoornlaag (dode, verhoornde epitheelcellen): bescherming tegen beschadiging, uitdroging en infecties.
 - Kiemlaag (levende epitheelcellen): aanvulling van de hoornlaag van onderaf.
 - Haren ontstaan in haarzakjes die tot de kiemlaag worden gerekend.
- Lederhuid: bindweefsel met zintuigen, zenuwen, haarspiertjes, bloedvaten en zweetklieren.
 - Bloedvaten en zweetklieren spelen een belangrijke rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur.
- Onderhuids bindweefsel.
 - Opslag van vet in vetcellen.

LEERDOEL 11 ►► BASISSTOF 5**Je kunt uitleggen hoe het interne milieu (lichaamstemperatuur) min of meer constant wordt gehouden door de huid (homeostase).**

- Thermoregulatie is het herstellen of in stand houden van de gewenste lichaamstemperatuur door organismen.
- De hypothalamus stuurt de regeling van de lichaamstemperatuur.
 - De hypothalamus ontvangt informatie van de koude- en warmtezintuigen in de lederhuid.
- De huid speelt een rol bij de regeling van de lichaamstemperatuur:
 - door de bloedvaten in de huid te verwijden of te vernauwen;
 - door verdamping van zweet op het huidoppervlak.
- De hoeveelheid warmte die een lichaam kan vasthouden of afgeven, hangt af van de verhouding tussen het lichaamsoppervlak van een organisme en het volume (inhoud) ervan.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend met:

- doelgericht zoeken, beoordelen en selecteren van informatie;
- analyseren welke rol kennis over gaswisseling en uitscheiding heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- weergeven en interpreteren van gegevens;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- evalueren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, bewerken en overzichtelijk weergeven van data;
- geven van een beargumenteerde mening;
- vorm-functiedenken op verschillende organisatieniveaus;
- beredeneren van gevolgen van veranderingen in een levensgemeenschap of ecosysteem (ecologisch denken).

Examentrainer

LEVEN MET HET SYNDROOM VAN KARTAGENER

Bron: examen vwo 2016-1, vraag 30 tot en met 33.

De tienjarige Joris komt op het spreekuur bij de huisarts. Joris hoest veel en heeft vaak last van luchtweginfecties. De huisarts weet dat bij Joris het hart gespiegeld in de borstkas ligt. Ze vermoedt dat Joris primaire ciliaire dyskinesie (PCD) heeft. Dat is een afwijking in de werking van bepaalde trilharen die ook een rol spelen bij de links-rechtsoriëntatie van de organen tijdens de embryonale ontwikkeling. Na een aantal onderzoeken blijkt dat Joris het syndroom van Kartagener heeft, een combinatie van PCD en een gespiegelde ligging van hart, maag en lever.

De slechte trilhaarwerking, een van de symptomen van PCD, zou de bacteriële luchtweginfecties van Joris kunnen verklaren.

- 2p 1 Leg uit waardoor een gebrekkige trilhaarwerking deze luchtweginfecties tot gevolg heeft.

Beweeglijke trilhaarcellen bevinden zich onder andere in de neusholte.

Andere delen van de luchtwegen zijn:

- 1 luchtpijp;
- 2 bronchiën;
- 3 bronchiolen;
- 4 longblaasjes.

- 2p 2 In welk deel of in welke delen bevinden zich ook beweeglijke trilhaarcellen?
- A alleen in 1
 - B alleen in 1 en 2
 - C alleen in 2 en 3
 - D alleen in 1, 2 en 3
 - E alleen in 2, 3, en 4
 - F in 1, 2, 3 en 4

Joris wordt door de huisarts doorverwezen naar een kno-arts. Deze neemt een beetje epitheelweefsel (een biopt) weg uit de neus. De werking van de trilharen in dit biopt wordt microscopisch onderzocht. Een nadeel van een microscopisch onderzoek is dat de trilhaarcellen vaak al zijn aangetast door een infectie en daardoor minder goed functioneren. Een meer betrouwbare methode is dan ook om uit het biopt losse cellen te isoleren en daarvan onder steriele omstandigheden een celkweek te maken. In de kweekvloeistof vormen de cellen na verloop van tijd meercellige bolletjes met trilharen aan de buitenzijde.

- 2p 3 Leg uit dat met de celkweekmethode kan worden onderzocht of de gebrekkige trilhaarwerking een genetische oorzaak heeft en niet het gevolg is van een infectie.

De gaswisseling in de longen van Joris gaat zonder behandeling steeds verder achteruit doordat de diffusiesnelheid vermindert. De diffusiesnelheid V (hoeveelheid per tijdseenheid) van O_2 en CO_2 is volgens de wet van Fick afhankelijk van de volgende factoren:

$$V = D \times A \times \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Daarbij is D de diffusiecoëfficiënt, A het diffusieoppervlak, Δc het verschil in partiële gasdruk en Δx de diffusieafstand.

- 2p 4 Beschrijf met behulp van twee factoren uit de wet van Fick waardoor de diffusie van zuurstof in de longen van Joris vermindert.

KUNSTBLOED

Bron: examen vwo 2016-2, vraag 10 tot en met 13.

Bloedbanken kampen voortdurend met een tekort aan veilig bloed voor bloedtransfusies. Vandaar dat al lange tijd wordt gezocht naar bloedvervangers. Franse celbiologen onderzoeken de bruikbaarheid van kunstbloed met hemoglobine uit Zeeuwse wadpieren.

Door bij een bloedtransfusie kunstbloed zonder bloedcellen te gebruiken, voorkom je klontering van het bloed. Rode bloedcellen zijn echter belangrijk voor het vervoer van zuurstof. Om kunstbloed te verkrijgen met een grote capaciteit voor zuurstoftransport wordt geëxperimenteerd met vrije hemoglobinemoleculen (Hb) in een fysiologische zoutoplossing. Deze Hb kan van menselijke of dierlijke herkomst zijn.

Uit tests met verschillende soorten Hb-kunstbloed is gebleken dat vrije Hb-moleculen efficiënt zuurstof transporteren. Net als in normaal bloed (volbloed) is de Hb in kunstbloed ook in staat CO_2 te binden en af te geven. Doordat rode bloedcellen ontbreken, is de CO_2 -transportcapaciteit van Hb-kunstbloed echter gering.

- 2p 5 Beschrijf hoe er door de aanwezigheid van rode bloedcellen in volbloed meer CO_2 uit weefsels via volbloed kan worden afgevoerd dan via Hb-kunstbloed.

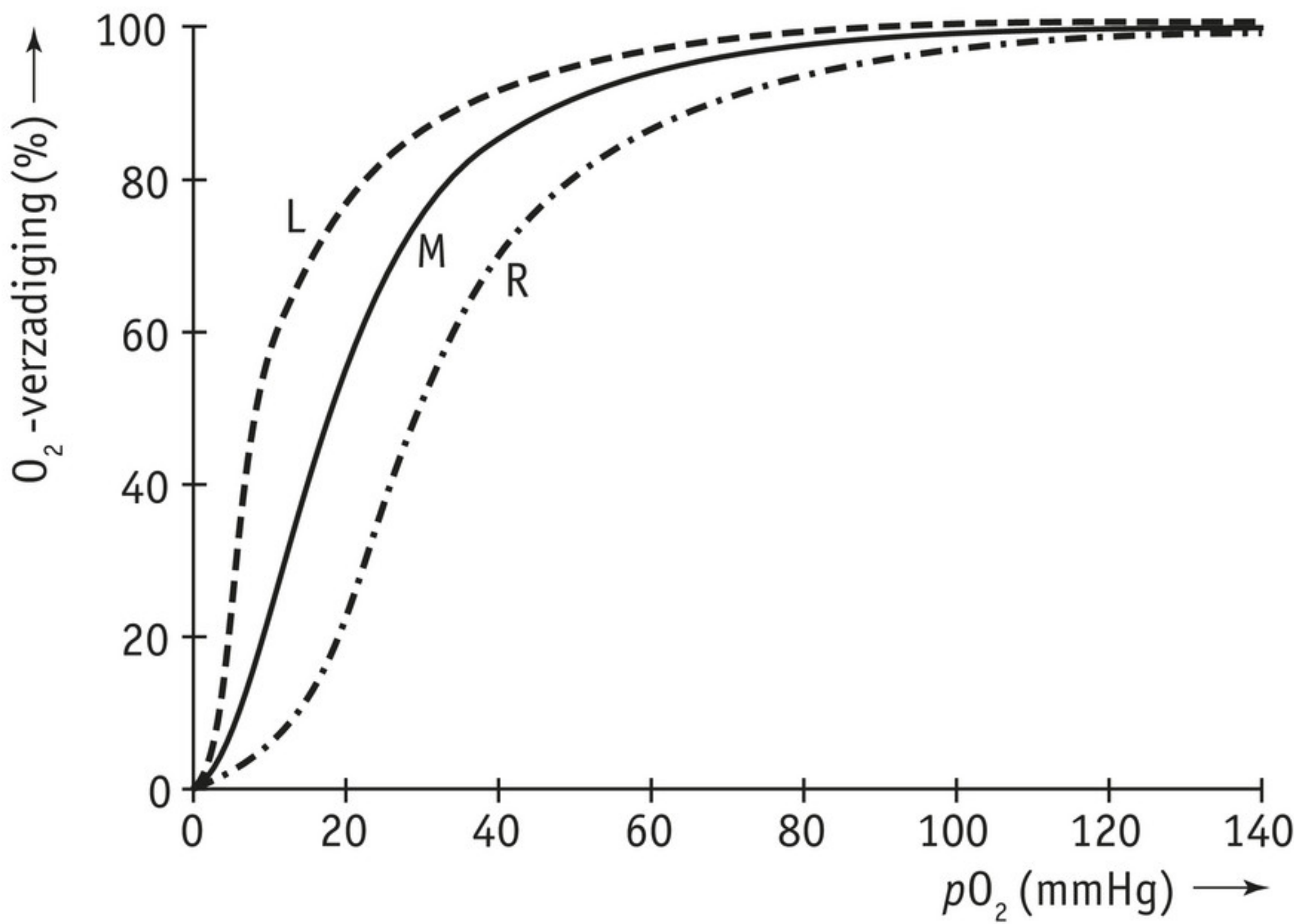
Er zijn nog veel bijwerkingen bij het gebruik van Hb-kunstd bloed. De vrije Hb-moleculen geven zeer snel O_2 af in de weefsels. Het menselijk lichaam reageert hierop door vaatvernauwing en dit veroorzaakt weer een verhoogde bloeddruk. Ook worden vrije Hb-moleculen in het lichaam snel afgebroken. Hb-fragmenten hopen zich vervolgens op in de nierbuisjes.

- 2p
- 6
- Waardoor leidt vaatvernauwing tot een verhoogde bloeddruk?
 - Verklaar waardoor ophoping van Hb-fragmenten in de nierbuisjes het probleem van de verhoogde bloeddruk kan vergroten.

Franse celbiologen denken dat de wadpier *Arenicola marina* een oplossing zou kunnen bieden voor de problemen met kunstd bloed. De wadpier bezit Hb die ongeveer 50× zo groot is als menselijk Hb, stabiel is in de bloedstroom en een hogere O_2 -affiniteit heeft. Kunstd bloed met celvrije pieren-Hb bezit dan ook andere eigenschappen dan kunstd bloed met celvrije mensen-Hb.

Afbeelding 1 toont de zuurstofverzadiging van kunstd bloed met celvrije mensen-Hb (curve M). De zuurstofverzadigingscurve van kunstd bloed met celvrije pieren-Hb heeft een ander verloop.

▼ Afb. 1



In de afbeelding zijn twee andere zuurstofverzadigingscurven, L en R, geschetst: een naar links (L) en een naar rechts (R) verschoven ten opzichte van de curve M (van kunstd bloed met celvrije mensen-Hb).

- 2p
- 7
- Welke van de curven L of R geeft het best de zuurstofverzadigingscurve van kunstd bloed met celvrije pieren-Hb weer? En welk effect heeft deze verschuiving voor de O_2 -afgifte in de weefsels in vergelijking met die van kunstd bloed met celvrije mensen-Hb?

	curve	effect op O_2 -afgifte in de weefsels
A	L	O_2 -afgifte gebeurt al bij een hogere pO_2
B	L	O_2 -afgifte gebeurt pas bij een lagere pO_2
C	R	O_2 -afgifte gebeurt al bij een hogere pO_2
D	R	O_2 -afgifte gebeurt pas bij een lagere pO_2

De celbiologen verwachten dat kunstd bloed met celvrije pieren-Hb geen schade aan de nieren zal veroorzaken.

- 2p
- 8
- Op welke eigenschap van de pieren-Hb is die verwachting gebaseerd?
- A Het kan de kapsels van Bowman niet passeren.
 - B Het kan de kapsels van Bowman ongehinderd passeren.
 - C Het wordt niet uit de voorurine gere(ab)sorbeerd.
 - D Het wordt vrijwel volledig uit de voorurine gere(ab)sorbeerd.

Zwangerschapsdiabetes is een vorm van suikerziekte die tijdens de zwangerschap ontstaat, meestal tussen de 24e en 28e week van de zwangerschap. Deze vorm van diabetes wordt veroorzaakt door insulineresistentie.

Een ouderwetse methode voor de diagnose van diabetes is het aantonen van glucose in de urine. Bij zwangere vrouwen kan de nierdrempel (de bloedwaarde waarboven glucose in de urine komt) voor glucose echter verlaagd zijn, waardoor deze methode niet geschikt is.

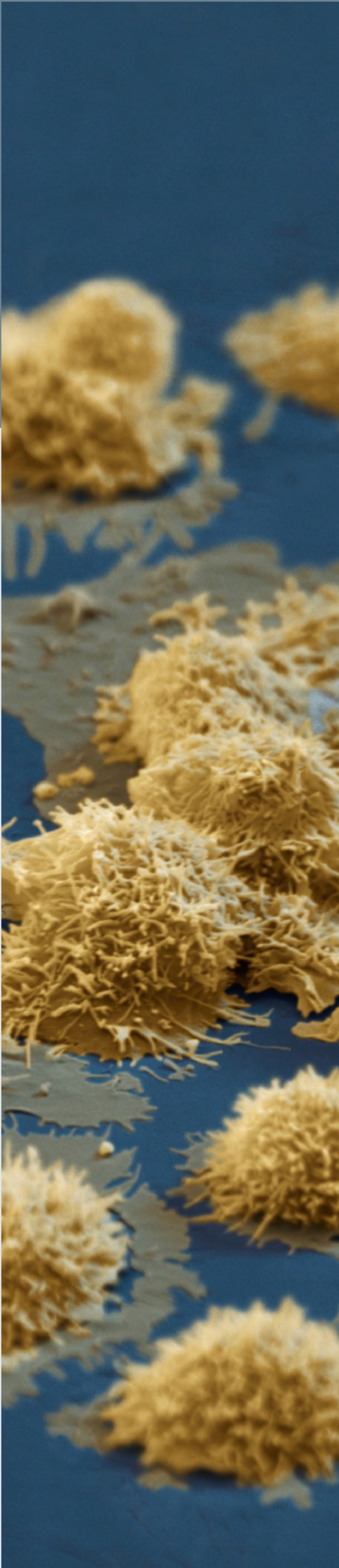
- 2p
- 9
- Wat houdt in dit geval ‘een verlaagde nierdrempel’ in?
- A Door de nierbuisjes wordt minder glucose dan normaal gereabsorbeerd (teruggeresorbeerd).
 - B Glucose wordt dan actief uitgescheiden door de nierbuisjes.
 - C Via het kapsel van Bowman komt meer glucose dan normaal in de voorurine terecht.

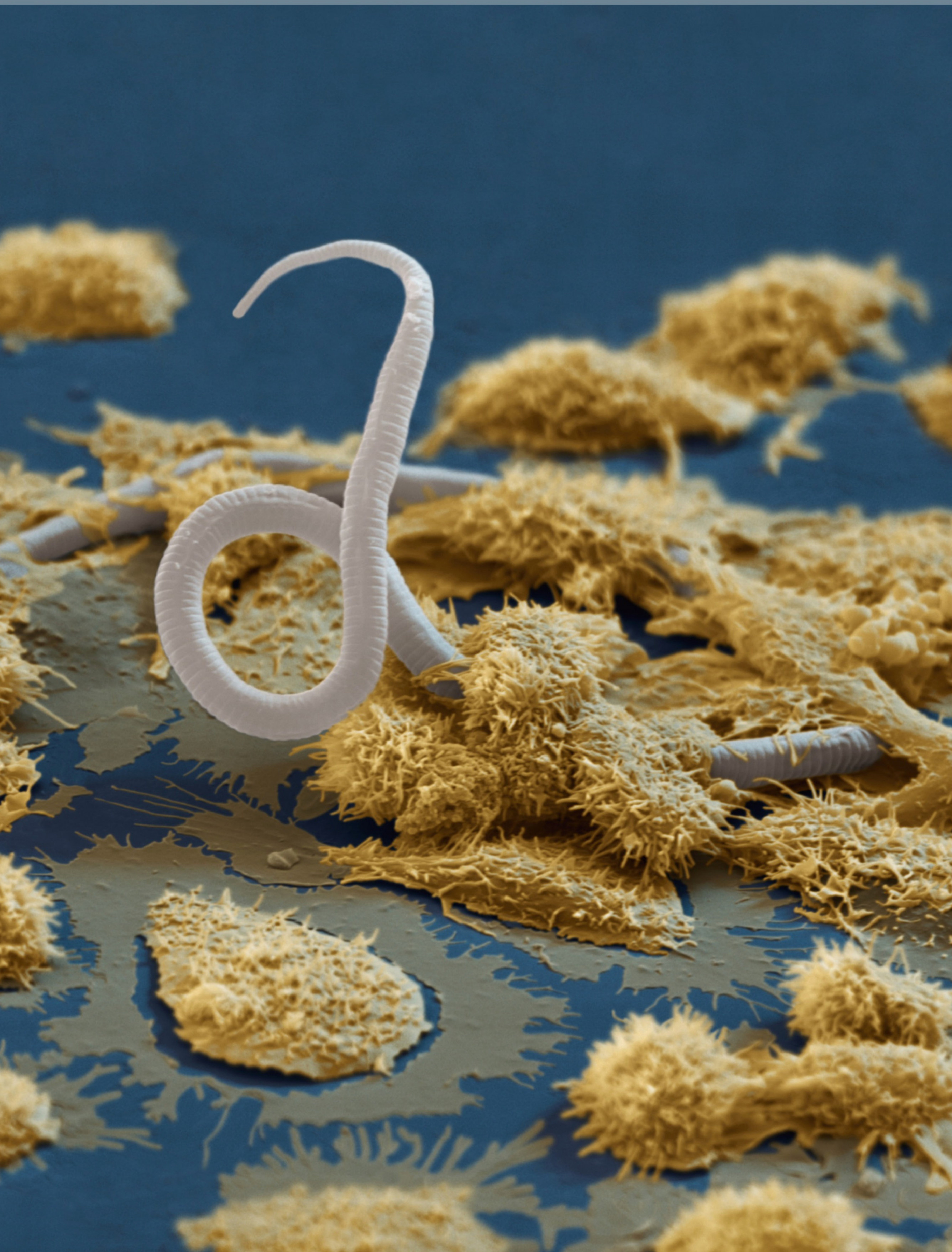
4

Afweer

Het immuunsysteem verdedigt het lichaam tegen ziekteverwekkers en veranderde eigen cellen. Het wordt onderverdeeld in een aangeboren afweer die alle dieren bezitten, en een verworven afweer die alleen bij gewervelde dieren voorkomt. Dit thema gaat over de afweerreacties van mensen. Ook de rol van deze afweerreacties bij orgaantransplantaties en bloedtransfusies komt aan bod.

ONTDEKKEN		
Besmettingsgevaar in de crèche?		172
BASISSTOF		
1 Bescherming		174
2 Afweer		179
3 Immuniteit		192
4 Transplantatie en bloedtransfusie		199
SAMENHANG		
Poep, het meest veelzijdige medicijn		208
PRACTICA		210
SAMENVATTING		212
EXAMENTRAINER		216







Besmettingsgevaar in de crèche?

►► BASISSTOF 3

Jeanet en Lars herinneren het zich nog als de dag van gisteren. De crèche van hun 12 maanden oude dochter Floor belde met het bericht dat er bij een kleuter mazelen was geconstateerd en dat deze kleuter contact had gehad met Floor.

In 2013 en 2014 was er een grote mazelenepidemie in Nederland. De meeste patiënten waren niet-gevaccineerde schoolkinderen uit orthodox-christelijke gezinnen. Daarnaast waren onder de zieken veel baby's van nog geen 14 maanden, de leeftijd waarop kinderen in Nederland worden ingeënt tegen mazelen. Tijdens de epidemie werden ruim honderdtachtig kinderen met mazelen in het

ziekenhuis opgenomen. Eén 17-jarige stierf als gevolg van de ziekte. Een paar jaar eerder, in 2008, werden bij een kleinere uitbraak van mazelen vier kinderen in het ziekenhuis opgenomen. Toen waren de zieken voornamelijk kinderen van wie de ouders vaccinatie hadden afgewezen op grond van hun levensovertuiging.

Floor zat al in het Rijksvaccinatieprogramma. Toch schrokken Jeanet en Lars enorm, want hun dochter was pas 1 jaar oud en dus nog niet ingeënt tegen mazelen.

‘Floor moest direct in quarantaine.’

Mazelen wordt veroorzaakt door het mazelenvirus. Deze zeer besmettelijke ziekte wordt overgedragen via uitademingen, niezen of hoesten. Mazelen begint met koorts, hoesten, neusverkoudheid en oogontsteking. Na twee tot vier dagen ontstaan er rode vlekjes. Van de patiënten krijgt 5 tot 10% oorontsteking, soms met doofheid tot gevolg, 1 tot 5% krijgt een levensbedreigende longontsteking en bij één op de duizend patiënten leidt mazelen tot een acute hersenontsteking, vaak met blijvende hersenschade.

Ook Floor kreeg koorts en moest direct in quarantaine. Zij werd steeds zieker, dronk amper en kreeg ook nog eens een longontsteking. Haar hartslag was heel hoog en ze zag er slap en uitgeput uit. Door het toedienen van zuurstof, sondevoeding en antibiotica via een infuus kon het leven van Floor worden gered.

Haar ouders waren achteraf verontwaardigd. Zij begrijpen niet dat ouders hun niet-ingeeënte kind naar een kinderdagverblijf brengen waar ook baby's rondkruipen die nog niet zijn ingeënt. De Brancheorganisatie Kinderopvang stelt dat crèches geen kinderen mogen weigeren, zolang inenting niet verplicht is. Oudervereniging BOinK en een meerderheid van de Tweede Kamer vinden dat ouders in elk geval moeten worden geïnformeerd als er niet-ingeeënte kinderen op de crèche zijn.

Bron: de tekst is gebaseerd op een waargebeurde situatie, de personen zijn fictief. Informatie is onder andere afkomstig uit het artikel ‘Zij gokten met het leven van mijn kind’, Maud Effting, *de Volkskrant*, 15 maart 2014.

opdrachten

Door de hoge vaccinatiegraad in Nederland (95%) is de kans op besmetting met mazelen op een kinderdagverblijf klein. Maar er zijn mensen die hun kinderen niet of niet volledig laten vaccineren. Bij veel van hen speelt religie of levensovertuiging een rol. Andere ouders zijn kritisch over de vermeende gevolgen van een inenting.

Jullie werken als biologen bij de Dienst Voorlichting van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Jullie verzorgen daar onder andere de informatie over vaccinaties.

- 1 Vorm groepen van vier personen.
 - Oriënteer je op drie populair-wetenschappelijke publicaties of doelgroepen. Bekijk bijvoorbeeld een wetenschapskatern uit een dagblad, een tijdschrift als *KIJK* of *QUEST* of een zwangerschapsclub, waar zwangere vrouwen en hun partners bij elkaar komen.
 - Beschrijf het niveau en de manier waarop (de noodzaak van) vaccineren in deze publicaties of voor deze doelgroepen het best kan worden uitgelegd. Inventariseer welke toon, diepgang en invalshoek nodig zijn.
 - Kies één publicatie of doelgroep.
- 2 Schrijf een artikel van maximaal één A4'tje of maak een presentatie van maximaal tien slides.
 - Leg in jullie artikel of presentatie uit hoe immuniteit ontstaat en welke verschillende vormen van immuniteit er zijn.
 - Geef ook informatie over (de noodzaak van) vaccinatie. Gebruik hierbij biologische en/of ethische argumenten, gericht op de doelgroep waarvoor je schrijft.
 - Gebruik in jullie artikel of presentatie de volgende begrippen: *actieve en passieve immuniteit – cellulaire en humorale respons – kunstmatige en natuurlijke immuniteit – vaccinatie*.
 - Geef in jullie artikel of presentatie aan hoe deze begrippen met elkaar samenhangen. Bijvoorbeeld met een inleidende of afsluitende samenvatting en/of een duidelijke illustratie.

De informatie die je nodig hebt, vind je in basisstof 3 en op de websites van het RIVM en het Rijksvaccinatieprogramma.

- 3 Vorm nieuwe groepen van vier personen. In deze nieuwe samenstelling gaan jullie de artikelen en presentaties nauwkeurig bekijken.
 - Verzamel alle argumenten voor en tegen vaccinatie. Sluit af met een conclusie.
 - Verzamel alle medisch-ethische en biologische argumenten voor en tegen vaccinatie uit de artikelen en presentaties.
 - Verwerk de argumenten in een overzichtelijk schema en schrijf een conclusie van maximaal een half A4'tje.

Leerdoel

- Je kunt de werking en functie van de huid bij de afweer van de mens beschrijven.

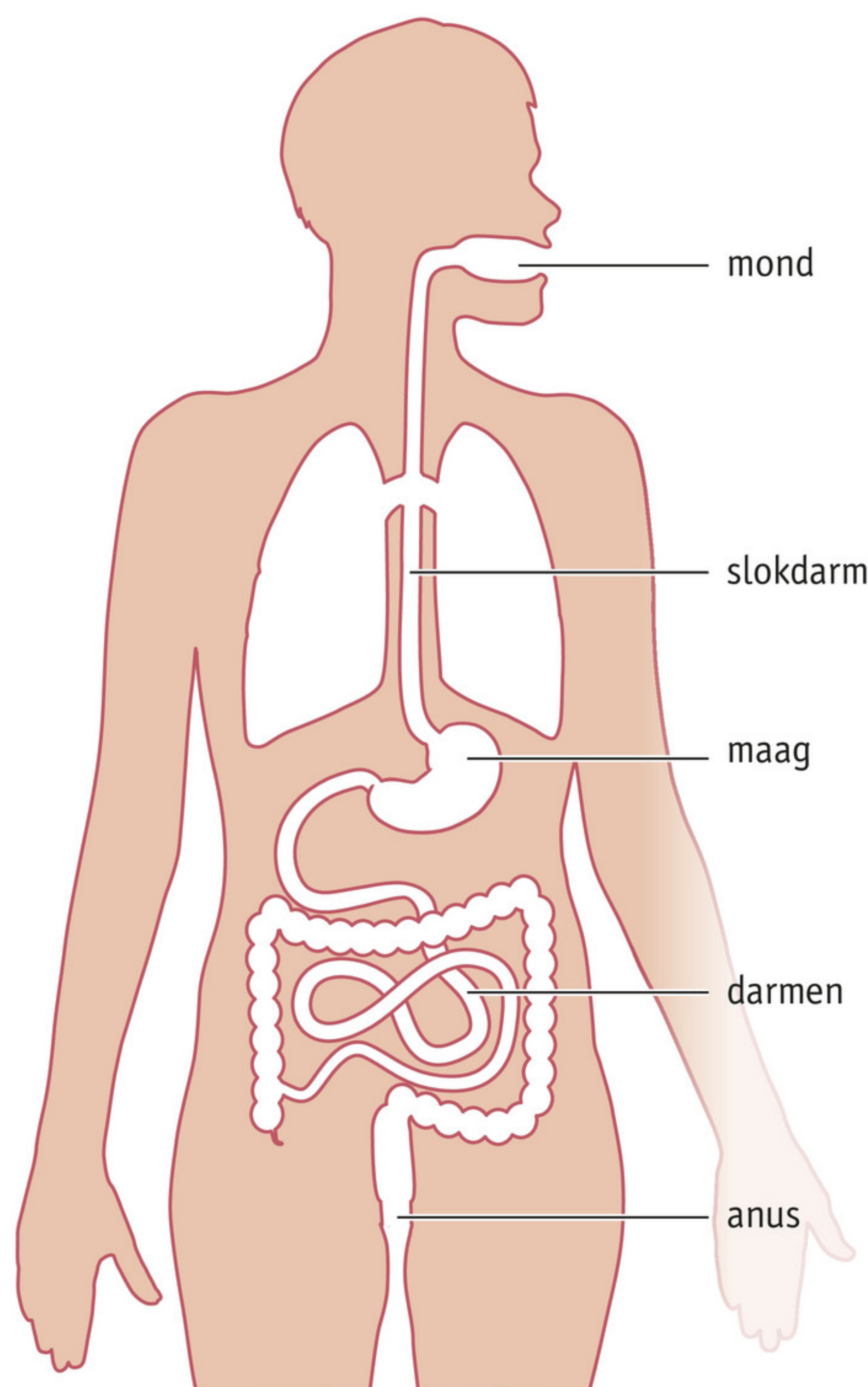
1 Bescherming

Tussen het inwendige en het uitwendige milieu ligt een beschermende grens van ongeveer 2 m² huid, 80 m² longslimvlies en 350 m² darmslimvlies. Gevaarlijke schimmels, bacteriën, virussen en parasieten liggen constant op de loer, maar dringen bijna nooit ons lichaam binnen.

INWENDIG EN UITWENDIG MILIEU

Je lichaam wordt constant belaagd door organismen uit de omgeving die je ziek kunnen maken. Veel van deze **ziekteverwekkers** of **pathogenen** zijn erg klein, zoals virussen en bacteriën. Andere zijn groter, zoals schimmels en dieren (bijvoorbeeld insecten). Het inwendige milieu is gescheiden van het uitwendige milieu door het dekweefsel van de huid, de longen en de darmen (zie afbeelding 1). De inhoud van het maag-darmkanaal hoort bij het uitwendige milieu. Je kunt dit kanaal vergelijken met een holle buis die is aangesloten op de buitenwereld. In afbeelding 1 is het inwendige milieu roze gekleurd. Dit deel van het lichaam kan alleen worden bereikt door een celmembraan te passeren.

► **Afb. 1** Inwendig en uitwendig milieu.



LICHAAMSVREEMDE STOFFEN

Je kunt ziek worden van organismen of stoffen die je inademt of inslikt of die via je huid binnendringen. Stoffen of cellen die niet in je lichaam thuishoren, heten **lichaamsvreemd**. Het afweersysteem of immuunsysteem beschermt je tegen lichaamsvreemde organismen en lichaamsvreemde stoffen. **Lichaamseigen** stoffen of cellen worden door je lichaam gemaakt of zijn onderdeel van je lichaam. Deze worden normaal gesproken niet door je immuunsysteem aangevallen.

▼ Afb. 2 Ziekteverwekkers.



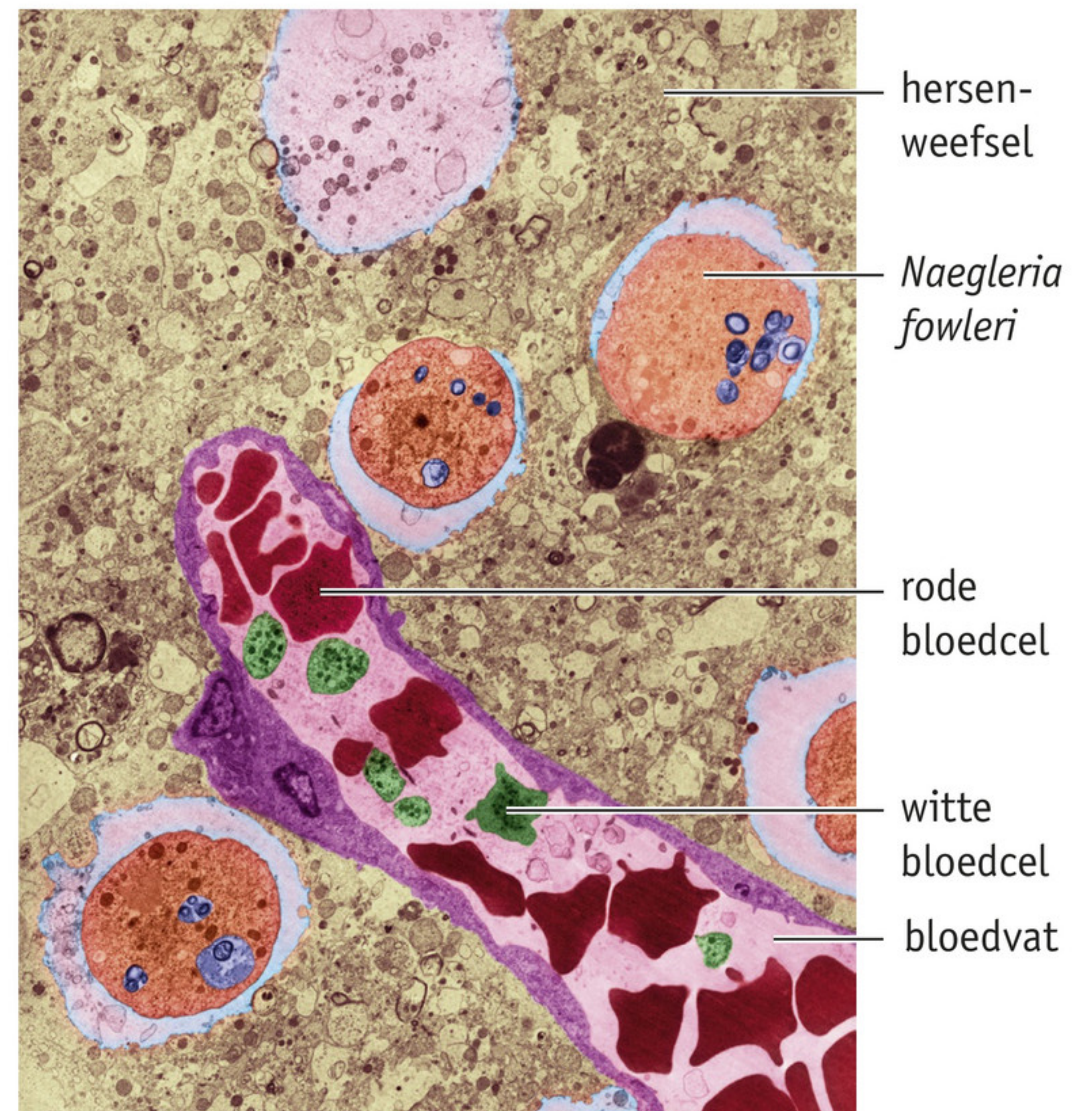
1 Syfilis wordt veroorzaakt door een bacterie.



2 Zwemmerseczeem wordt veroorzaakt door een schimmel.



3 Polio wordt veroorzaakt door een virus.



4 *Naegleria fowleri* is een hersenetende amoëbe. De amoëbe dringt via de neus binnen en klimt via de zenuwcellen naar het brein, waar het de breincellen 'opslurpt' met een zuignapje. Een infectie met *Naegleria fowleri* komt zelden voor.

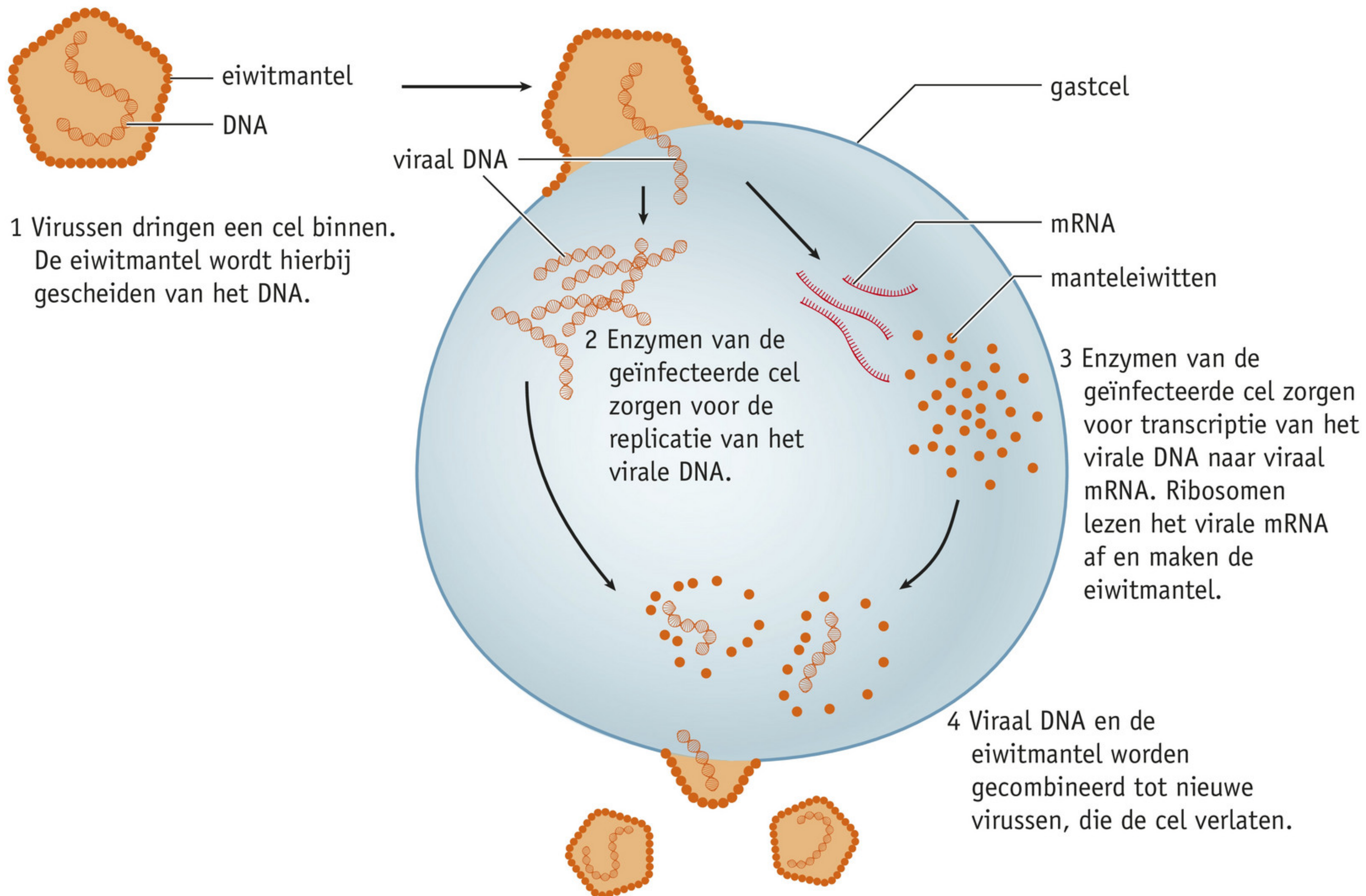
Het binnendringen van pathogenen (ziekteverwekkers) in je lichaam wordt een **infectie** genoemd. Bij een infectie met bacteriën, schimmels en dieren ontstaan de ziekteverschijnselen veelal door de giftige stoffen (toxinen) die deze organismen afgeven. Schimmels infecteren meestal alleen de huid of de luchtwegen, terwijl bacteriën, virussen en eencellige dieren vaak ook de rest van het lichaam binnendringen. In afbeelding 2 zie je enkele ziekteverwekkers.

VIRUSSEN

Virussen bevatten DNA of RNA met daaromheen een eiwitmantel (capside). Virussen kunnen zich niet zelfstandig voortplanten, maar gebruiken daarvoor specifieke gastheercellen. Na aanhechting van een virus aan receptoren op de gastheercel vindt er een proces plaats waarbij het virus-DNA of virus-RNA terechtkomt in het cytoplasma van de gastheercel. In de gastheercel vindt dan vermenigvuldiging van het virus plaats. In afbeelding 3 is dit bij een DNA-virus weergegeven. Wanneer je ziek wordt doordat virussen zich in je cellen vermenigvuldigen, spreek je van een virusinfectie (virale infectie).

Virussen kunnen hun gastheer op verschillende manieren ziek maken. Ze kunnen cellen doden of beschadigen door de afgifte van eiwitverterende enzymen. Ook kunnen ze geïnfecteerde cellen toxinen laten produceren, waardoor de cel beschadigd raakt of sterft. De hoeveelheid schade die een virus veroorzaakt, hangt ook af van het vermogen van het geïnfecteerde weefsel om te herstellen. Mensen herstellen bijvoorbeeld van een verkoudheid, doordat geïnfecteerde epitheelcellen van het ademhalingsstelsel door celdeling worden vervangen. Dit geldt niet voor volwassen zenuwcellen die door het poliovirus worden geïnfecteerd. Mensen die met het poliovirus zijn geïnfecteerd, raken blijvend verlamd.

▼ **Afb. 3** De vermenigvuldiging van een DNA-virus.



DE EERSTE VERDEDIGINGSLINIE

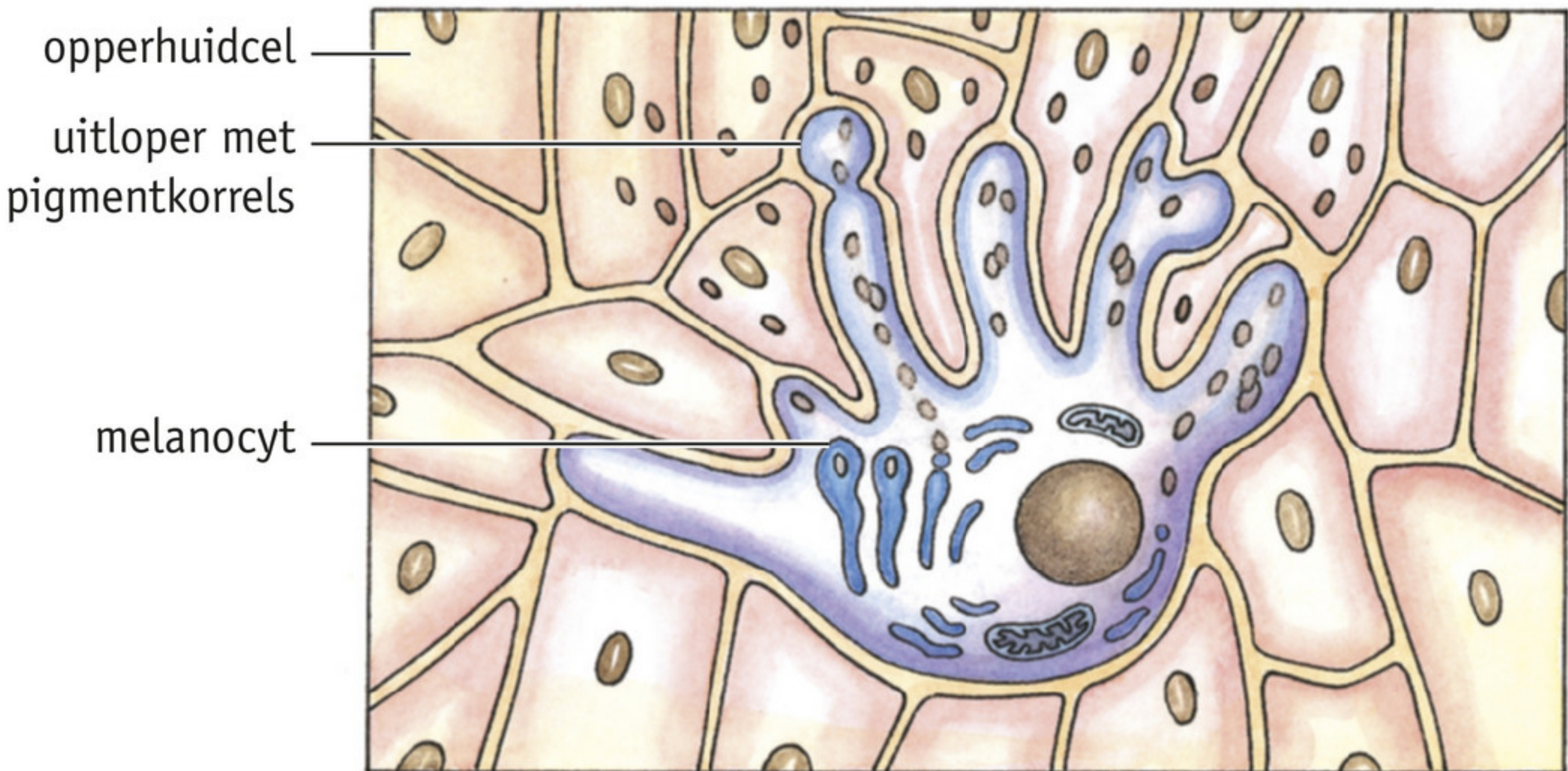
De **huid** en de **slijmvliezen** vormen de eerste verdedigingslinie in de bescherming tegen gevaren van buitenaf. Door de bouw van de huid dringen ziekteverwekkers en schadelijke stoffen moeilijk binnen. Daar waar openingen in de huid zitten, zoals bij de ogen, de neus en de mond, zorgen slijmvliezen ervoor dat ziekteverwekkers moeilijk kunnen binnendringen. Traanvocht en speeksel spoelen indringers weg, terwijl slijm ziekteverwekkers opvangt en tegenhoudt in de neus (snot), de luchtwegen, het verteringsstelsel, het uitscheidingsstelsel en het voortplantingsstelsel. Dit zijn voorbeelden van **mechanische afweer**, omdat het gaat om afweer met behulp van fysieke aanpassingen.

Chemische afweer is het gebruik van stoffen om indringers buiten te houden. Maagsap bijvoorbeeld bevat zoutzuur (HCl opgelost in water). Door de zeer lage pH (1–2) worden veel ziekteverwekkers in het voedsel gedood. Op de huid zorgen zweet en olie voor een pH van 3–5, waardoor veel schadelijke bacteriën niet op de huid kunnen groeien. Op de huid en in het darmkanaal bevinden zich ook veel goede bacteriën. Deze helpen het lichaam te beschermen tegen ziekteverwekkers. Waar goede bacteriën leven, is vaak geen plaats voor andere (schadelijke) bacteriën. De bacteriën op de huid en in de darmen horen bij de mechanische afweer.

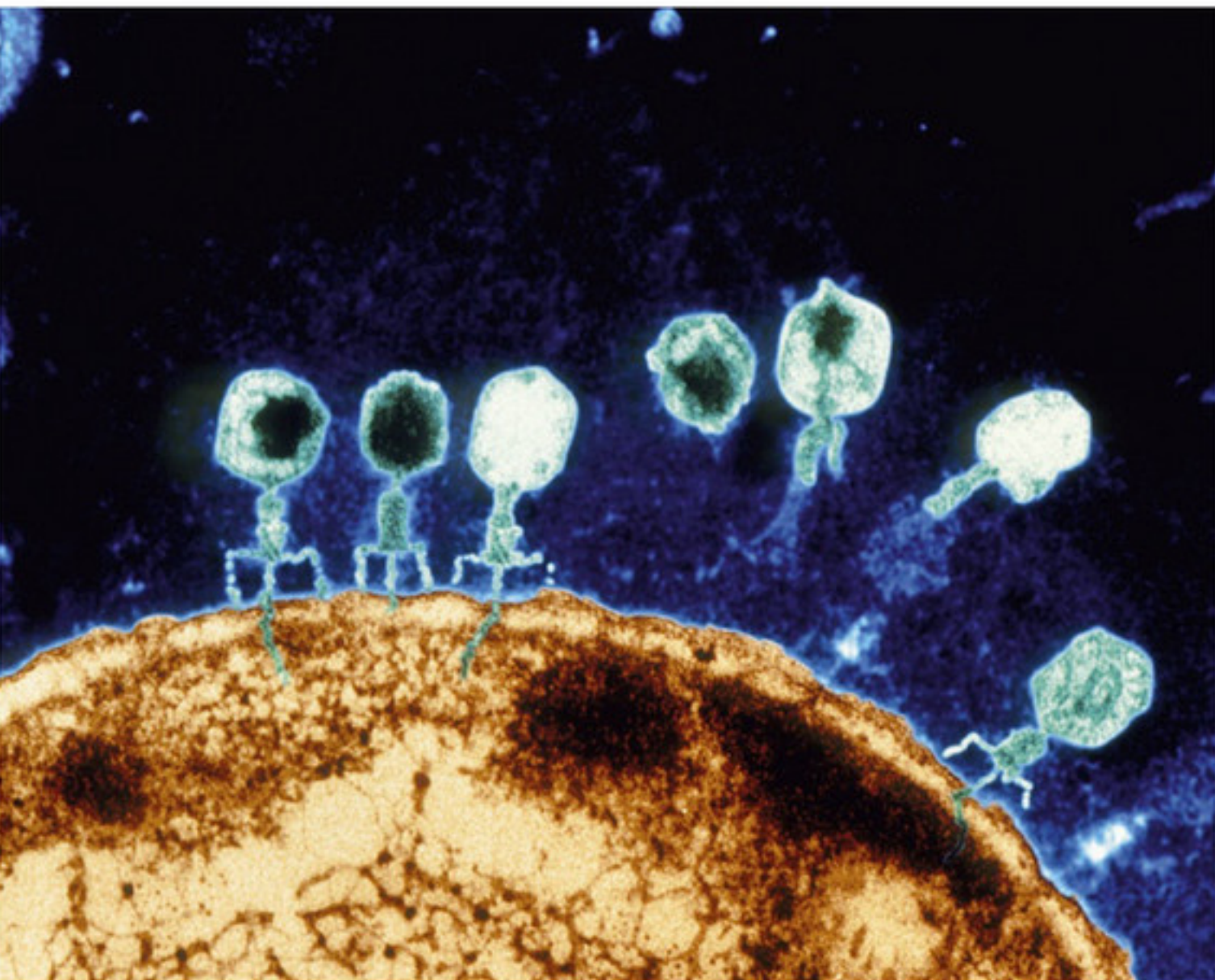
De huid beschermt het lichaam niet alleen tegen het binnendringen van ziekteverwekkers, maar ook tegen invloeden van buitenaf, zoals beschadiging, waterverlies door verdamping en DNA-beschadiging door ultraviolette straling. In de kiemlaag liggen pigmentvormende cellen: de **melanocyten** (melanos = zwart). Deze vormen het donkere pigment **melanine**, dat ze via hun uitlopers afgeven aan de nabijgelegen opperhuidcellen (zie afbeelding 4). De vorming van

melanine wordt gestimuleerd door blootstelling van de huid aan zonlicht. Melanine beschermt de delende cellen in de kiemlaag tegen de schadelijke invloed van ultraviolette straling in zonlicht.

► Afb. 4 Een melanocyt in de opperhuid.



▼ Afb. 5 Bacteriofagen injectereniraal DNA in een E. coli-bacterie (TEM).



opdrachten

- 1

a

Behoren de inhoud van de baarmoeder en de urineblaas tot het uitwendige of tot het inwendige milieu? Leg je antwoord uit.

b

Behoren hoesten, niezen en braken tot de mechanische of de chemische afweer? Leg je antwoord uit.
- 2

Antivirale middelen zijn medicijnen die werkzaam zijn tegen virale infecties.

a

Hoe zouden deze middelen kunnen werken?

b

Afbeelding 5 is een elektronenmicroscopische foto van bacteriofagen. Een bacteriofaag is een klein virus dat specifieke bacteriën injecteert met DNA. Daardoor vermenigvuldigt het virus-DNA zich in de bacterie en gaat de bacterie dood. Bacteriofagen komen ook voor in de darmen van een mens. Leg uit dat de bacteriofaag een ideale vorm heeft voor zijn manier van vermenigvuldigen. Geef twee voorbeelden.
- 3

In afbeelding 6 is een onderzoek weergegeven.

a

Formuleer een onderzoeksvraag en hypothese bij dit onderzoek.

b

Leg uit hoe de controlegroep werd behandeld.

c

Uit welke huidproducten zullen de bacteriën hun voedsel halen?

d

Welke vorm van symbiose bestaat er tussen de mens en de op zijn huid levende bacteriën? Leg je antwoord uit.

▼ Afb. 6

ONDERZOEK		HUIDFLORA BESCHERMT TEGEN ZIEKTEVERWEKKERS	
Inleiding	Op de huid komen veel bacteriën voor die in poriën leven en daar hun voedselbron hebben. Deze huidbacteriën hebben mogelijk een functie bij het verdedigen van de gastheer tegen ziekteverwekkers.		
Onderzoeksvraag			
Hypothese			
Experiment	Menselijke huidbacteriën worden met een wattenstaafje op een groep steriele muizen gestreken en een andere groep steriele muizen wordt gebruikt als controlegroep. Daarna krijgen beide groepen een injectie in de huid met een agressieve vijandelijke eencellige dierlijke parasiet.		
Resultaat	De muizen met menselijke huidbacteriën krijgen minder vaak en minder ernstige ontstekingen en huidaandoeningen dan de muizen die niet zijn voorzien van menselijke huidbacteriën.		
Conclusie	De hypothese is bevestigd.		

- 4 Een pneumokok is een bacterie die bij mensen vaak voorkomt in de neus- en keelholte, zonder dat mensen daar ziek van worden. Wanneer de bacterie vanuit de neus- en keelholte doordringt naar de oren of longen, kan hij daar oor- of longontsteking veroorzaken.
- a Welke vorm van symbiose bestaat er tussen de mens en de pneumokok, als die aanwezig is in de neus- en keelholte? Leg je antwoord uit.
- b Een pneumokok kan de oorzaak zijn van een longontsteking. Sommige mensen noemen een pneumokok daarom ook wel een parasiet. Geef een argument voor en een argument tegen het indelen van een pneumokok bij de parasieten.

CONTEXT

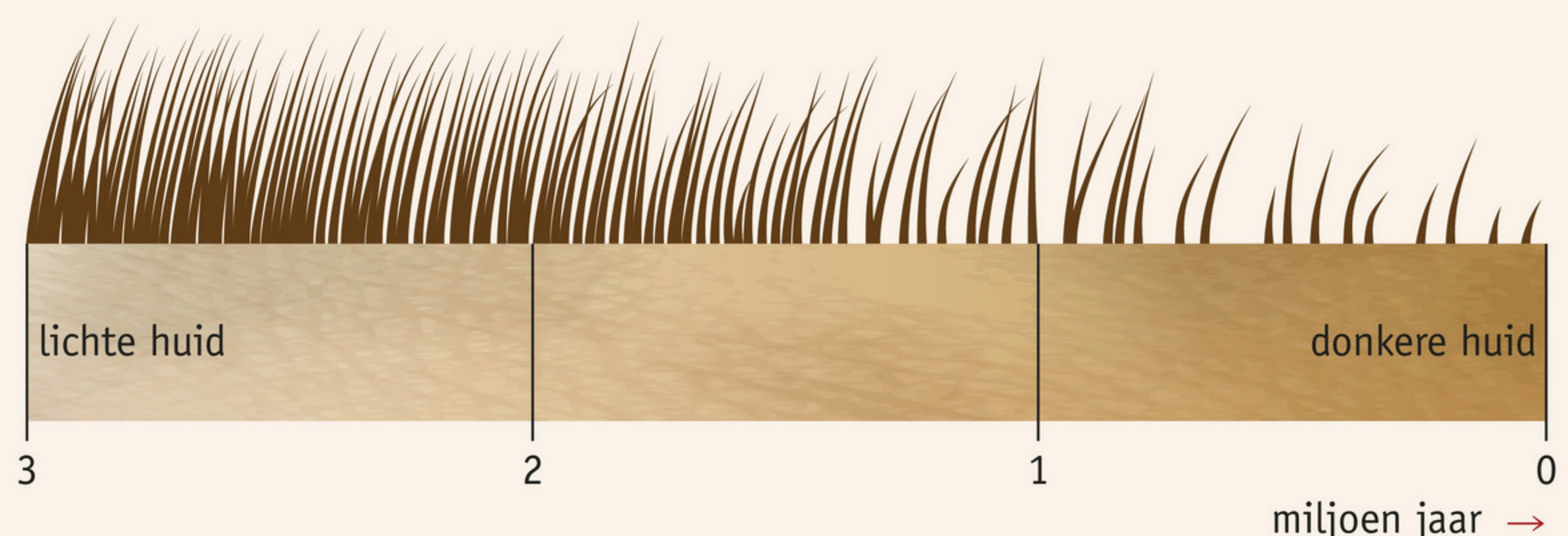
Leefwereld

Huidskleur en vitamine D

Mensapen hebben onder hun harige vacht een lichtgekleurde huid. Tijdens de evolutie is bij de mens een groot deel van de beharing verdwenen. Hierbij veranderde de huidskleur van licht naar donker (zie afbeelding 7). Net als een vacht biedt een donkere huidskleur bescherming tegen uv-straling. Blootstelling aan te veel uv-straling kan leiden tot huidkanker. Uv-straling beschadigt ook foliumzuur (vitamine B11), dat een belangrijke rol vervult in de synthese van DNA en in de aminozuurstofwisseling. Een tekort aan foliumzuur geeft zwangere vrouwen een verhoogde kans op het krijgen van kinderen met groeistoornissen en geboortefwijkingen.

Volgens onderzoekers trok zo'n 65 000 jaar geleden een groep mensen vanuit Afrika naar Azië en Europa. Daar zouden ze, in een proces dat 10 tot 20 000 jaar heeft geduurd, weer een lichtgekleurde huid hebben gekregen. Dit zou te maken hebben met vitamine D. In een lichte huid wordt namelijk veel sneller vitamine D gemaakt dan in een donkere huid. Een tekort aan vitamine D veroorzaakt rachitis. Door rachitis kan het bekken vervormen, wat invloed kan hebben op de voortplanting. Vitamine D speelt daarnaast ook een belangrijke rol in het immuunsysteem.

► **Afb. 7** Evolutie van de huid tot 65 000 jaar geleden.



opdracht

- 5 a Hoe lichter de huid is, hoe groter de kans op het ontstaan van huidkanker. De kans op het krijgen van huidkanker is echter geen verklaring voor de verandering van een lichte naar een donkere huid. Leg uit waarom niet.
- b Leg uit dat in Afrika, bij de afwezigheid van beharing, een donkere huid een evolutionair voordeel heeft boven een lichte huid.
- c Leg uit hoe een donkere huidskleur zich kon verspreiden over Afrika.
- d Leg uit hoe zich volgens de onderzoekers de lichte huid op het noordelijk halfrond kon verspreiden.

Leerdoelen

- Je kunt de vormen van aangeboren afweer beschrijven.
- Je kunt de vormen van verworven afweer beschrijven.
- Je kunt de onderlinge relatie van de delen van het immuunsysteem toelichten.

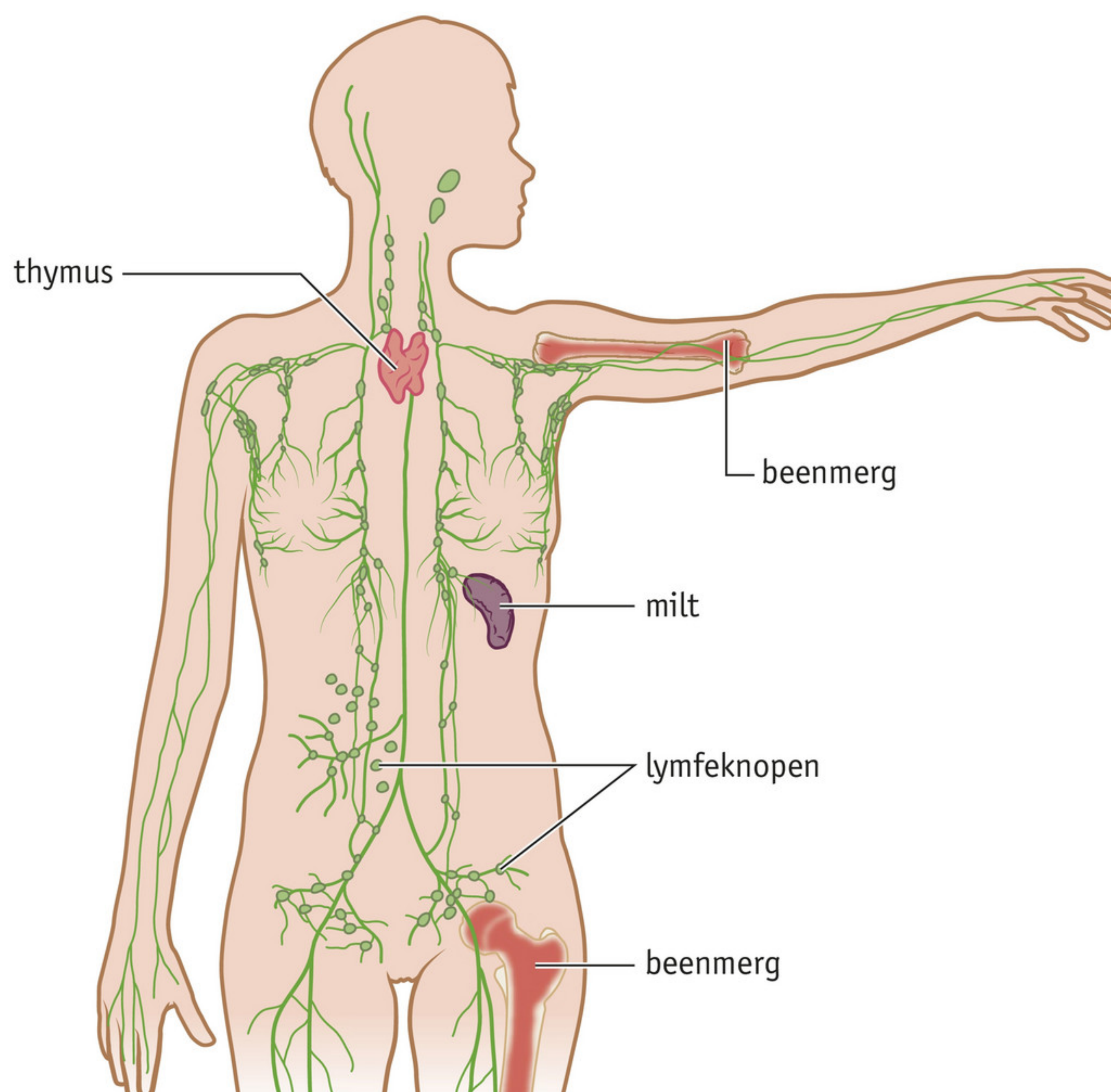
2 Afweer

In je darmen leven meer dan drie keer zo veel bacteriën als je lichaamscellen hebt. Jouw immuunsysteem strijdt hier continu tegen ziekteverwekkers, maar laat de lichaamsvreemde stoffen uit je voeding met rust.

HET IMMUUNSYSTEEM

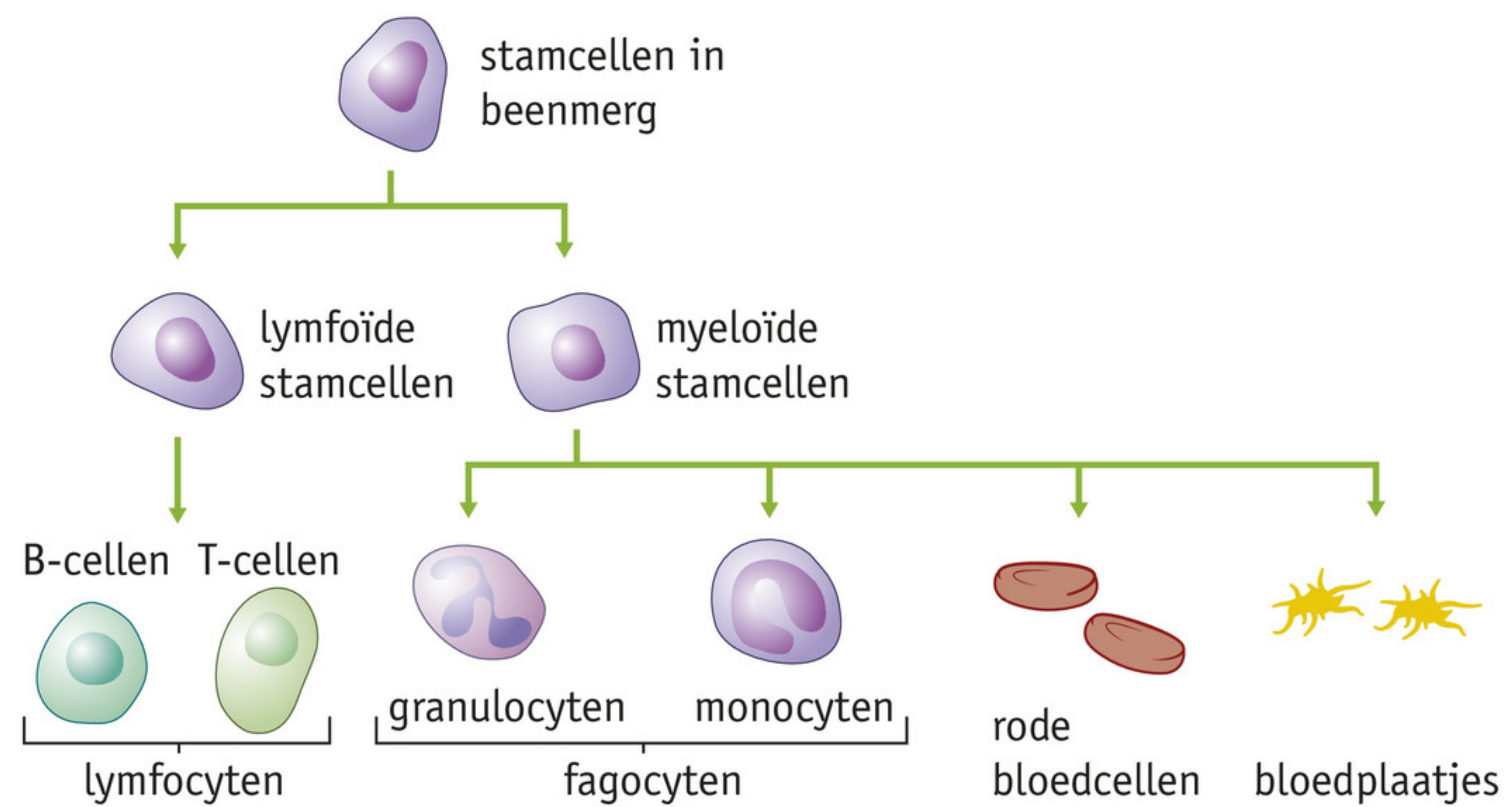
Wanneer ziekteverwekkers of schadelijke stoffen in het interne milieu binnendringen, wordt het immuunsysteem geactiveerd. Binnen het immuunsysteem worden twee typen afweer onderscheiden: aangeboren afweer en verworven afweer. De **aangeboren afweer** is gericht tegen vele verschillende typen ziekteverwekkers, komt voor bij alle dieren en planten en dient als een snelle eerste afweer tegen infectie. De aangeboren afweer is daarnaast de basis voor de verworven afweer. De **verworven afweer** is het deel van je immuunsysteem dat je gedurende je leven ontwikkelt. Deze afweer is gericht tegen één type ziekteverwekker en komt alleen bij gewervelde dieren voor. De aangeboren afweer werd vroeger de aspecifieke afweer genoemd, de verworven afweer stond bekend als de specifieke afweer. Belangrijke organen van het immuunsysteem zijn het beenmerg, de thymus (een klier boven in de borstholte), de milt en de lymfeknopen (zie afbeelding 8).

► **Afb. 8** De ligging van enkele belangrijke organen van het immuunsysteem.



Deze vier organen worden de **lymfoïde organen** genoemd. Ze hebben een functie bij de opslag en het transport van witte bloedcellen. In het **rode beenmerg** ontstaan uit stamcellen verschillende typen witte bloedcellen: **fagocyten** en **lymfocyten** (zie afbeelding 9). De cellen komen in het bloed terecht, waar ze lichaamsvreemde virussen en bacteriën herkennen en bestrijden. De fagocyten maken onderdeel uit van de aangeboren afweer, de lymfocyten horen bij de verworven afweer.

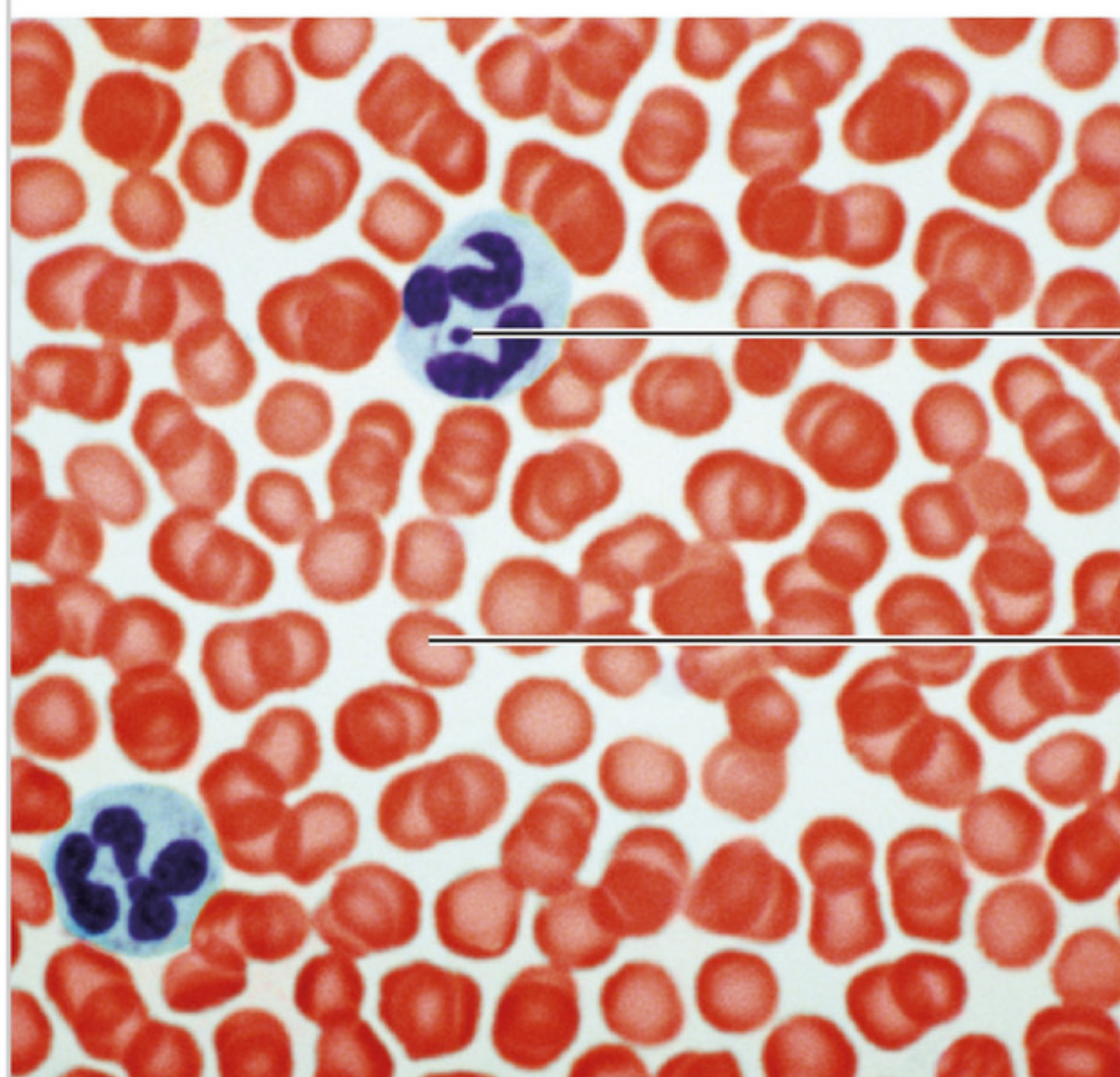
- **Afb. 9** Het ontstaan van witte bloedcellen (schematisch).



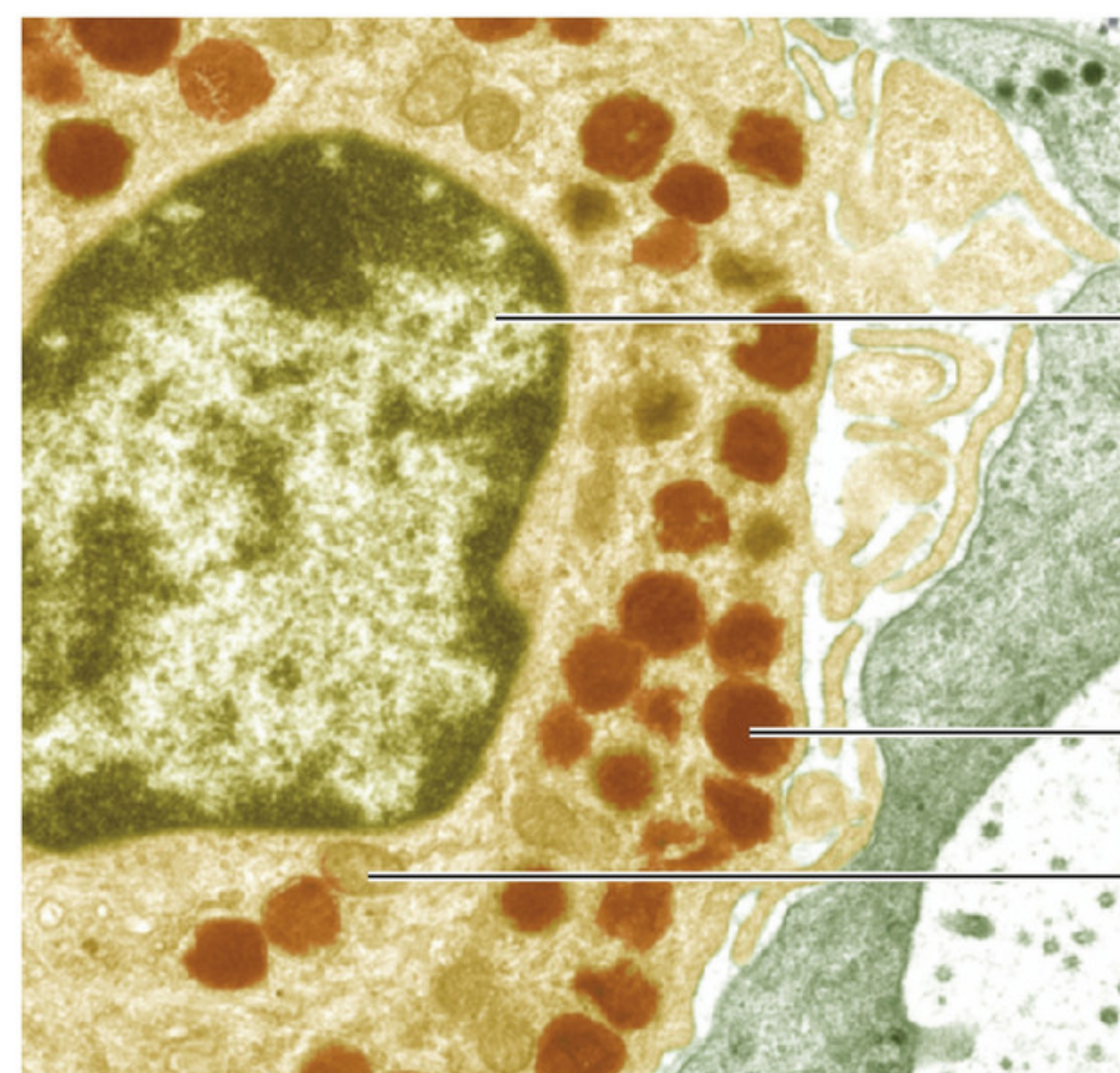
FAGOCYTEN (AANGEBOREN AFWEER)

Als een ziekteverwekker het lichaam van een mens is binnengedrongen, wordt hij vrijwel direct aangevallen door fagocyten. Fagocyterende cellen gebruiken receptoren om deze pathogenen te detecteren. Er zijn twee typen fagocyten: granulocyten en monocyten. Beide kunnen de wand van een haarvat passeren, waardoor ze overal in het lichaam voorkomen (zie afbeelding 10).

- ▼ **Afb. 10** Fagocyten.



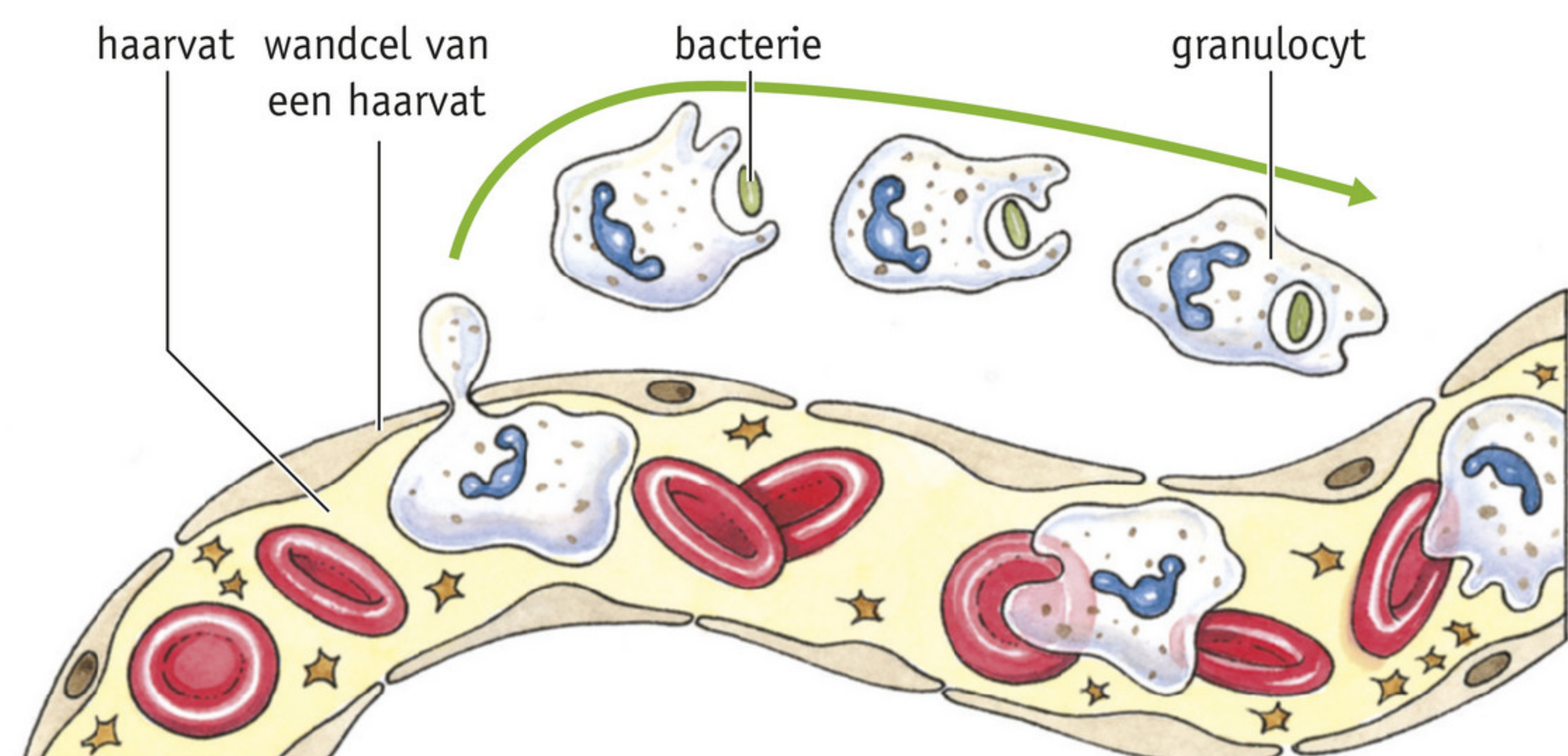
1 granulocyt



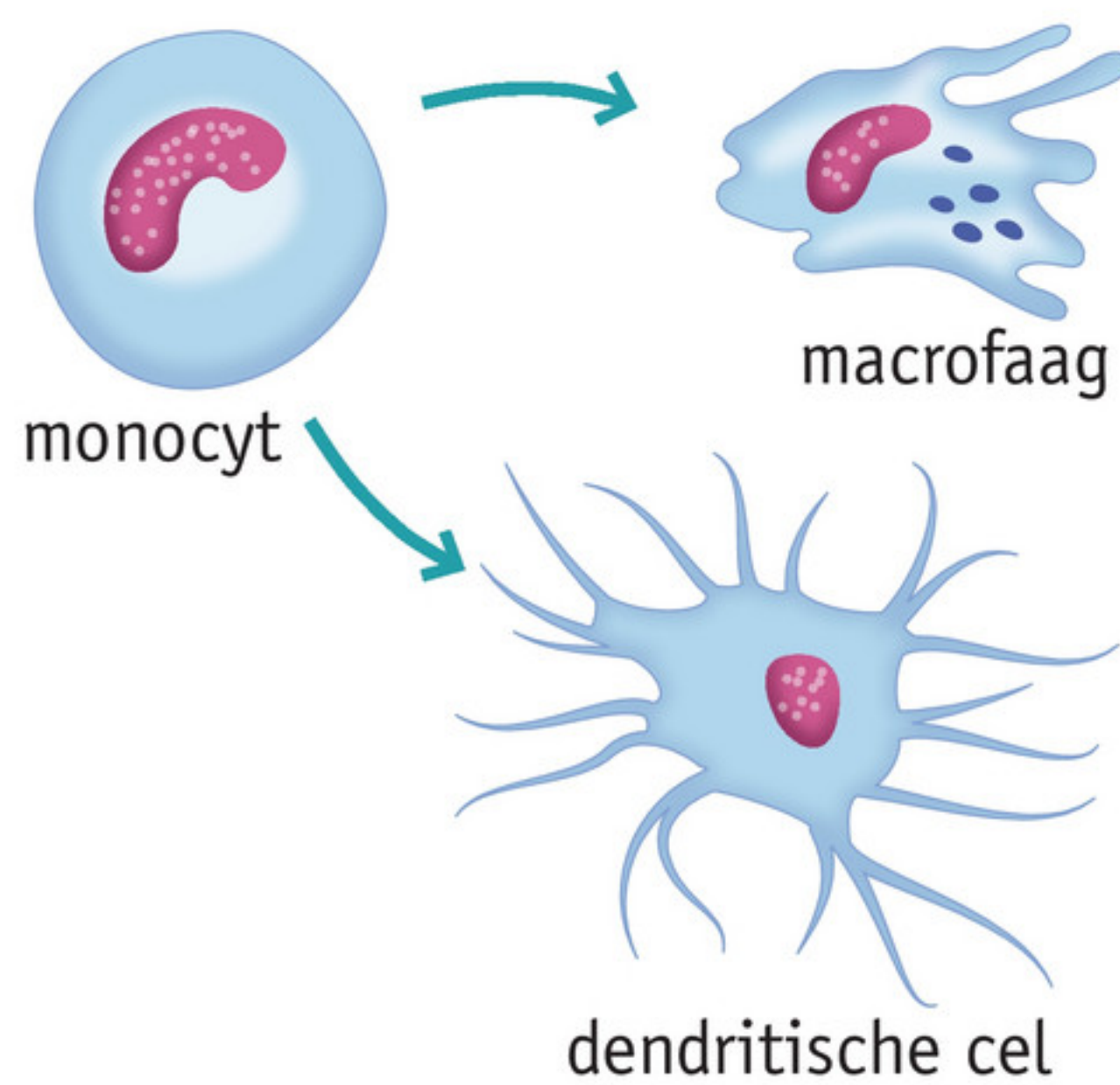
2 monocyt

Granulocyten reageren snel op binnendringende ziekteverwekkers en maken deze binnen enkele minuten na binnenkomst onschadelijk door ze te fagocyteren (zie afbeelding 11).

- **Afb. 11** Granulocyt die een bacterie fagocyteert.



▼ **Afb. 12** Een monocyt ontwikkelt zich tot macrofaag of dendritische cel.



In de granulocyten smelten lysosomen samen met het blaasje waarin de bacterie is ingesloten. Enzymen uit de lysosomen doden vervolgens de bacterie. De granulocyt gaat hierbij meestal ook dood. Etter of pus uit een ontstoken wond bestaat onder andere uit dode granulocyten, naast gedode bacteriën en dode weefselresten.

Monocyten komen ook overal in het lichaam voor. Na aanmaak in het beenmerg wordt een deel opgeslagen in de milt en een ander deel gaat via de bloedbaan naar de weefsels. Uit monocyten ontwikkelen zich macrofagen en dendritische cellen (zie afbeelding 12).

Als een monocyt de bloedbaan verlaat en in de weefselvloeistof komt, verandert deze van vorm en wordt dan macrofaag genoemd. **Macrofagen** (letterlijk: grote eter, veelvraat) verplaatsen zich door het hele lichaam en kunnen in tegenstelling tot granulocyten meerdere ziekteverwekkers vernietigen, doordat ze niet te gronde gaan na de fagocytose.

Een andere fagocyterende cel die zich uit monocyten ontwikkelt, is de dendritische cel (vanwege de vorm van de cel, vergelijkbaar met dendrieten in het zenuwstelsel).

Dendritische cellen vind je vooral op plaatsen waar ziekteverwekkers kunnen binnendringen, zoals in de huid en de slijmvliezen. Macrofagen en dendritische cellen spelen een rol in de aangeboren en in de verworven afweer.

Macrofagen kunnen koorts veroorzaken. In reactie op een ziekteverwekker scheiden ze **cytokinen** af die de normwaarde voor de lichaamstemperatuur verhogen. Cytokinen behoren tot de groep van **mediatoren**. Dit zijn eiwitten met een regulerende functie. Als de normwaarde van 37 °C hoger wordt, gaat het lichaam rillen om warmte op te wekken. Ook gaat het lichaam warmteverlies tegen door de bloedvaten in de huid te vernauwen. Je ziet daardoor bleek. Door de hoge lichaamstemperatuur bij koorts worden de afweerreacties in het lichaam versneld.

De afweer van het lichaam tegen bacteriën kan tijdelijk worden versterkt door het gebruik van antibiotica. Een **antibioticum** is een medicijn dat bacteriële infecties bestrijdt. Antibiotica werken dus niet tegen infecties door virussen. Er zijn verschillende typen antibiotica, waarvan penicilline het bekendst is. Een belangrijk nadeel van antibiotica is dat bacteriën er ongevoelig voor kunnen worden. Hoe vaker je antibiotica gebruikt, hoe groter de kans dat bacteriën ongevoelig worden. Artsen zijn daarom terughoudend met het voorschrijven van antibiotica.

opdrachten

- 6 Griep (influenza) ontstaat door infectie van de luchtwegen. Een grieppatiënt krijgt vaak koorts.
 - a In het slijmvliesweefsel van de luchtwegen komen relatief veel macrofagen voor.
Leg uit dat dit functioneel is.
 - b Leg uit dat bij griep geen antibiotica worden voorgeschreven.
 - c Leg uit waardoor koorts ervoor zorgt dat de afweerreacties in het lichaam versnellen.
- 7 Fagocyterende cellen herkennen pathogenen met behulp van receptoren. Ook andere lichaamscellen hebben receptoren.
Wat is het verschil tussen de moleculen die receptoren van fagocyterende cellen activeren en de moleculen die andere lichaamsreceptoren activeren?

▼ **Afb. 13** Aantal levende bacteriën in de tijd.

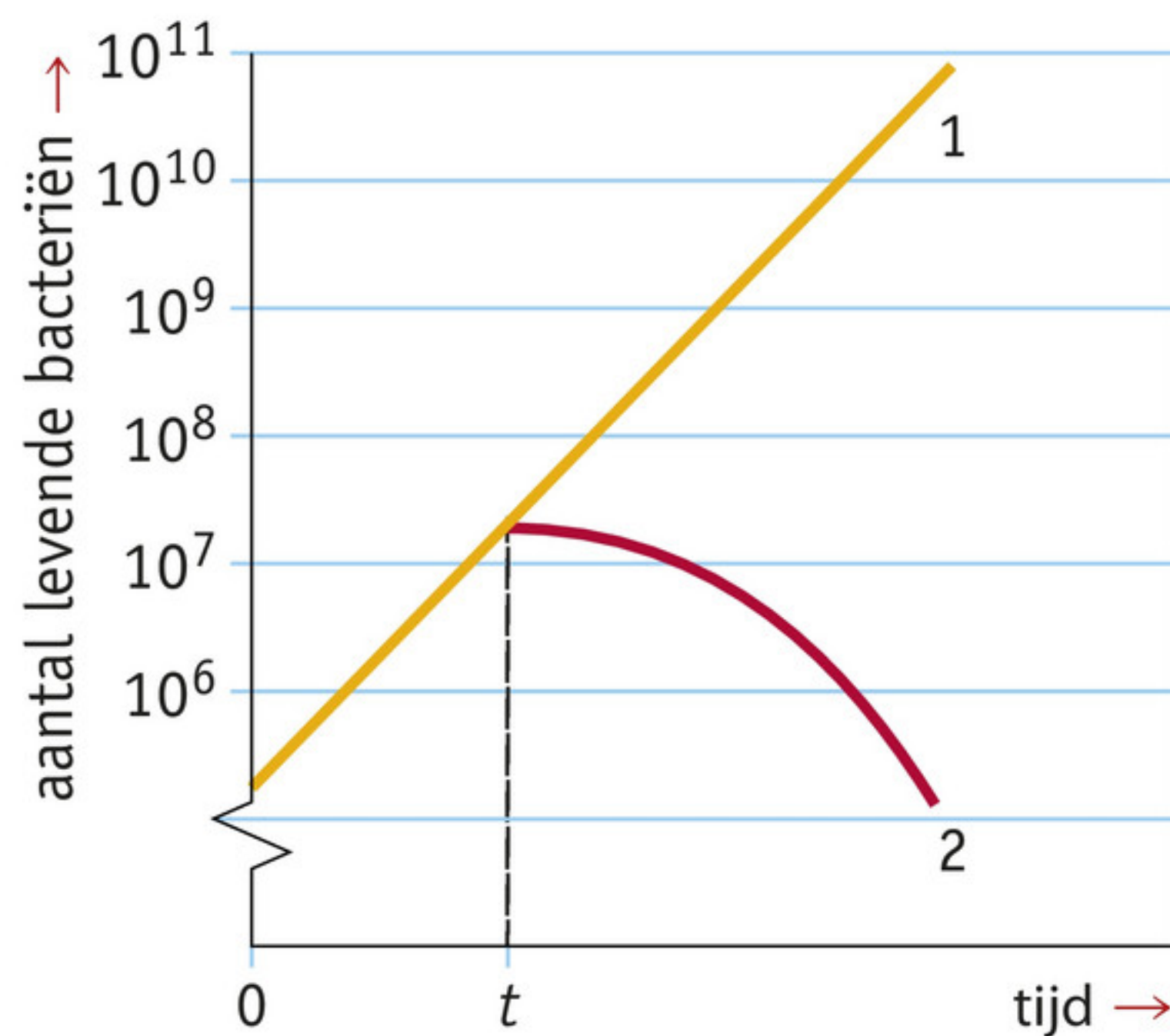


diagram 1

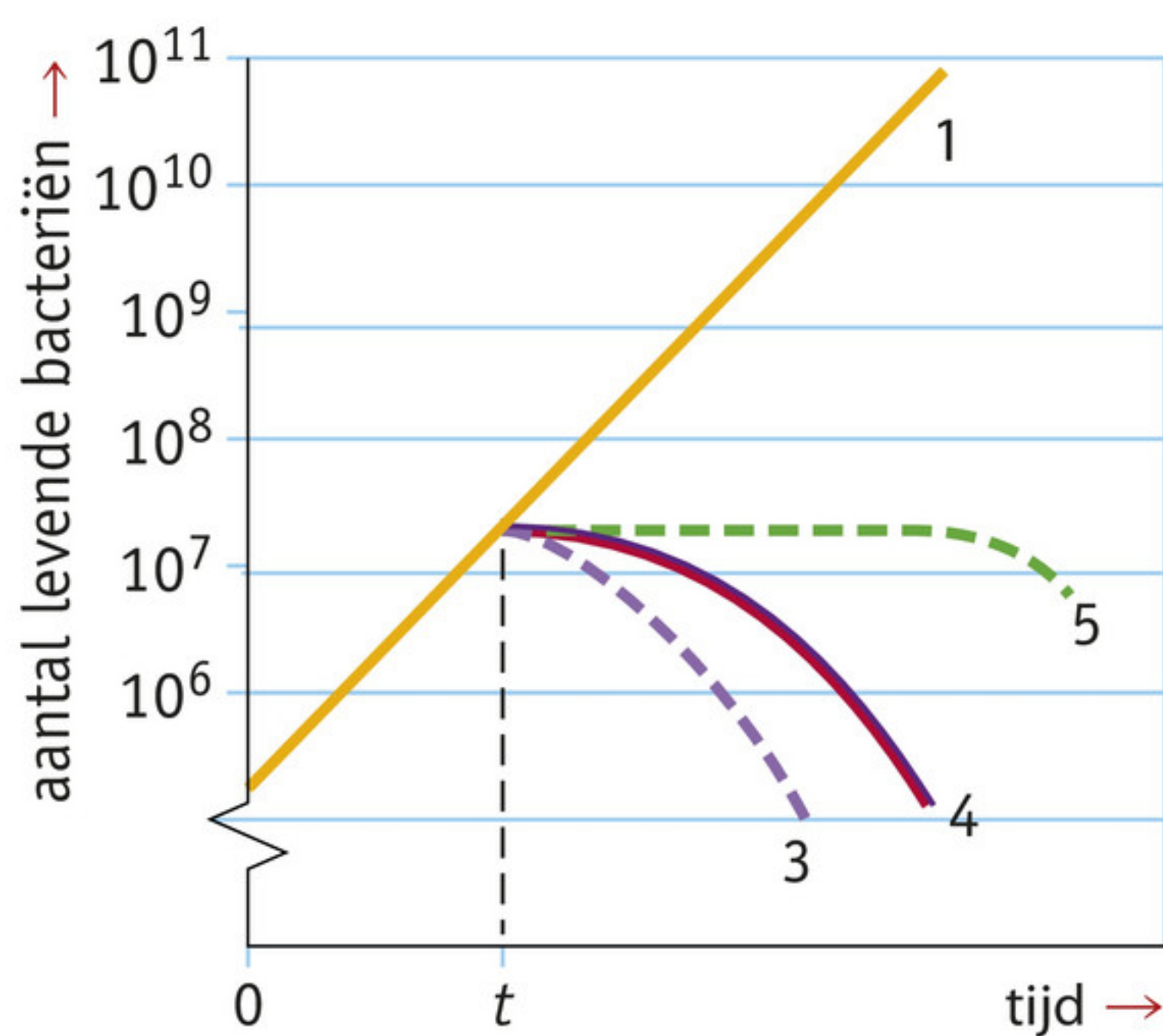
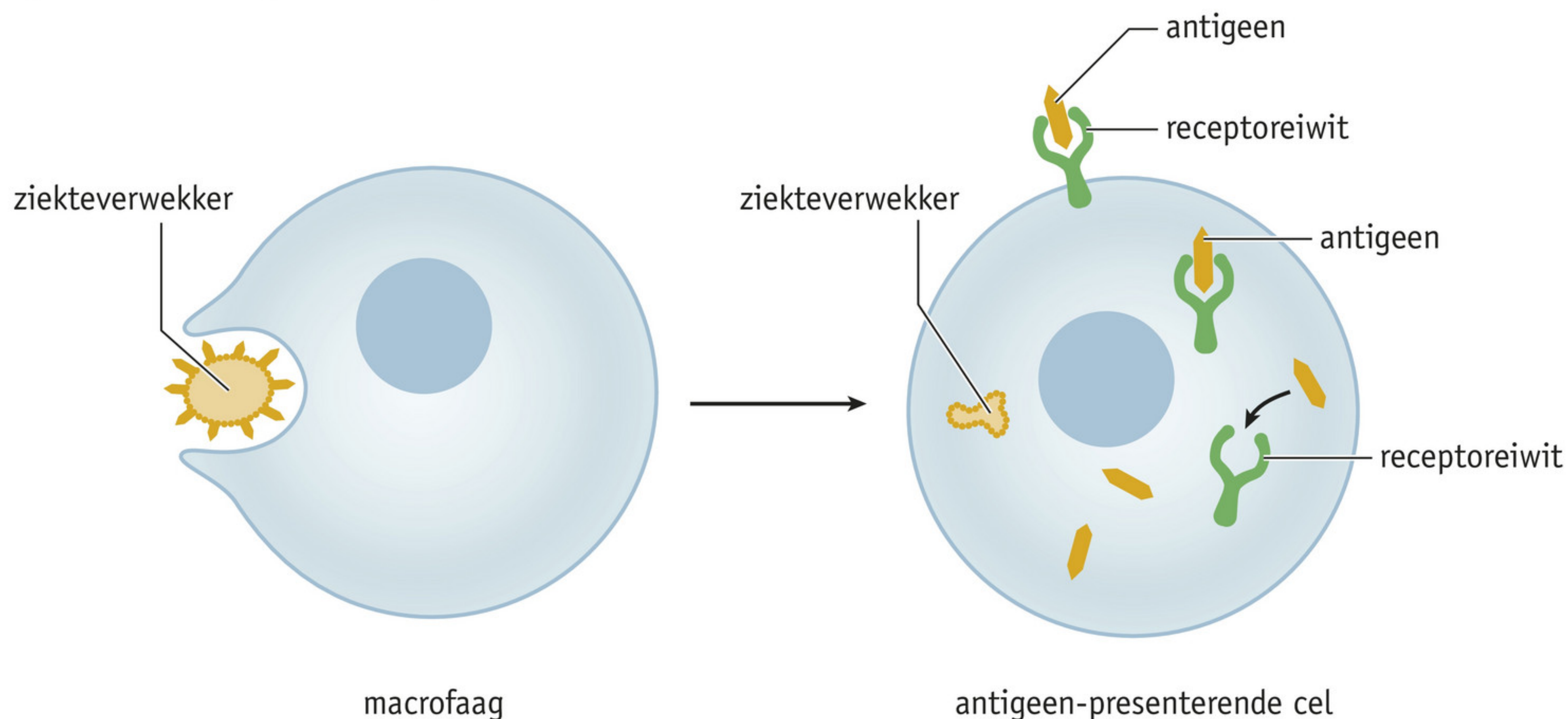


diagram 2

▼ **Afb. 14** Een macrofaag wordt een antigeen-presenterende cel (schematisch).



- 8 In een voedingsvloeistof worden gedurende een aantal dagen bacteriën gekweekt. Het verloop van het aantal bacteriën is weergegeven in afbeelding 13.1 met lijn 1. Lijn 2 geeft het verloop aan als op tijdstip t een bacteriedodend antibioticum aan de vloeistof wordt toegevoegd. Er zijn ook antibiotica die de bacteriën niet doden, maar alleen hun deling remmen.
- a Welke grafiek (3, 4 of 5) in afbeelding 13.2 geeft het verloop aan van het aantal levende bacteriën wanneer op tijdstip t een antibioticum wordt toegediend dat de deling van de bacteriën volledig stillegt? Leg je antwoord uit.
- b Sanne heeft een blaasontsteking en gaat daarvoor naar de huisarts. Deze schrijft een antibioticumkuur voor, maar met een te lage dosering. Leg uit dat dit tot resistentie kan leiden.

ANTIGEEN-PRESENTERENDE CELLEN

Macrofagen (en andere fagocyten) herkennen indringers aan antigenen. Een **antigeen** is een molecuul dat het immuunsysteem kan activeren. Antigenen zijn grote moleculen, vaak eiwitten, op celmembranen of op een deel van de eiwitmantel van een virus. Ook los voorkomende moleculen kunnen een antigeen zijn, zoals de eiwitten in slangengif of bacteriële toxine.

Als een ziekteverwekker het lichaam is binnengedrongen, wordt hij door een macrofaag herkend aan zijn antigenen. De macrofaag fagocyteert de ziekteverwekker, waarna de antigenen zich binden aan receptoren in het cytoplasma van de macrofaag. Deze receptoren met antigenen van de ziekteverwekker worden naar de buitenkant van het celmembraan van de macrofaag getransporteerd (zie afbeelding 14). Daardoor verandert deze in een **antigeen-presenterende cel (APC)**.

Fagocyten reageren snel op binnendringende ziekteverwekkers, maar doordat bacteriën en virussen zich enorm snel kunnen vermeerderen zijn er vaak niet voldoende fagocyten om alle ziekteverwekkers te bestrijden. Daarvoor hebben ze hulp nodig van het tweede afweersysteem: de verworven of adaptieve afweer. Bij de verworven afweer zijn de lymfocyten betrokken. Met het antigeen van de ziekteverwekker kan een APC exact aan de lymfocyten laten zien hoe de ziekteverwekker eruitziet. Op het moment dat een macrofaag of dendritische cel verandert in een APC, wordt hij onderdeel van de verworven afweer.

LYMFOCYTEN (VERWORVEN AFWEER)

Na de eerste afweerreactie, waarbij de macrofagen als stofzuigers de ziekteverwekkers te lijf gaan, worden de lymfocyten actief gemaakt. Sommige lymfocyten verplaatsen zich na hun ontstaan van het beenmerg naar de thymus om zich daar verder te ontwikkelen. Deze worden **T-lymfocyten** genoemd. Andere lymfocyten blijven in het beenmerg om te rijpen. Deze worden **B-lymfocyten** genoemd. Hierna verspreiden T- en B-lymfocyten zich over het lichaam. Een groot deel van de T- en B-lymfocyten komt via het lymfevatenstelsel terecht in de milt en de lymfeknopen (zie afbeelding 8).

Elke lymfocyt bezit een **receptoreiwit** dat specifiek bindt met het antigeen van één type ziekteverwekker (sleutel-slotprincipe). Elke lymfocyt heeft slechts één type receptor, maar van die ene receptor komen er wel honderdduizend voor op het celmembraan van de lymfocyt. Doordat er miljoenen verschillende ziekteverwekkers zijn, maakt het lichaam miljoenen verschillende T- en B-lymfocyten met elk hun eigen type antigeen-specifieke receptor. T-lymfocyten waarvan de antigeen-specifieke receptor bindt met een lichaamseigen eiwit, worden afgebroken. Dit rijpingsproces vindt plaats in de thymus en voorkomt dat lichaamseigen cellen worden vernietigd.

Antigeen-presenterende cellen gaan in de lymfoïde organen (het lymfatisch weefsel) op zoek naar de juiste T- en B-lymfocyt. Daarbij komen ze vele verschillende inactieve T- en B-lymfocyten tegen. Alleen een T- of B-lymfocyt met een receptor die exact past op het antigeen van de ziekteverwekker wordt geactiveerd. Het kost de antigeen-presenterende cellen enige tijd om de juiste T- en B-lymfocyt te vinden. Tijdens deze zoektocht blijf je ziek. Als de juiste lymfocyten zijn gevonden, zorgen T-lymfocyten ervoor dat geïnfecteerde cellen worden opgeruimd en B-lymfocyten zorgen ervoor dat ziekteverwekkers buiten de cellen (in vocht) worden opgeruimd. Daardoor worden ziektekiemen zowel in cellen als daarbuiten aangevallen en vernietigd en is er geen plek waar zij zich kunnen verstoppen.

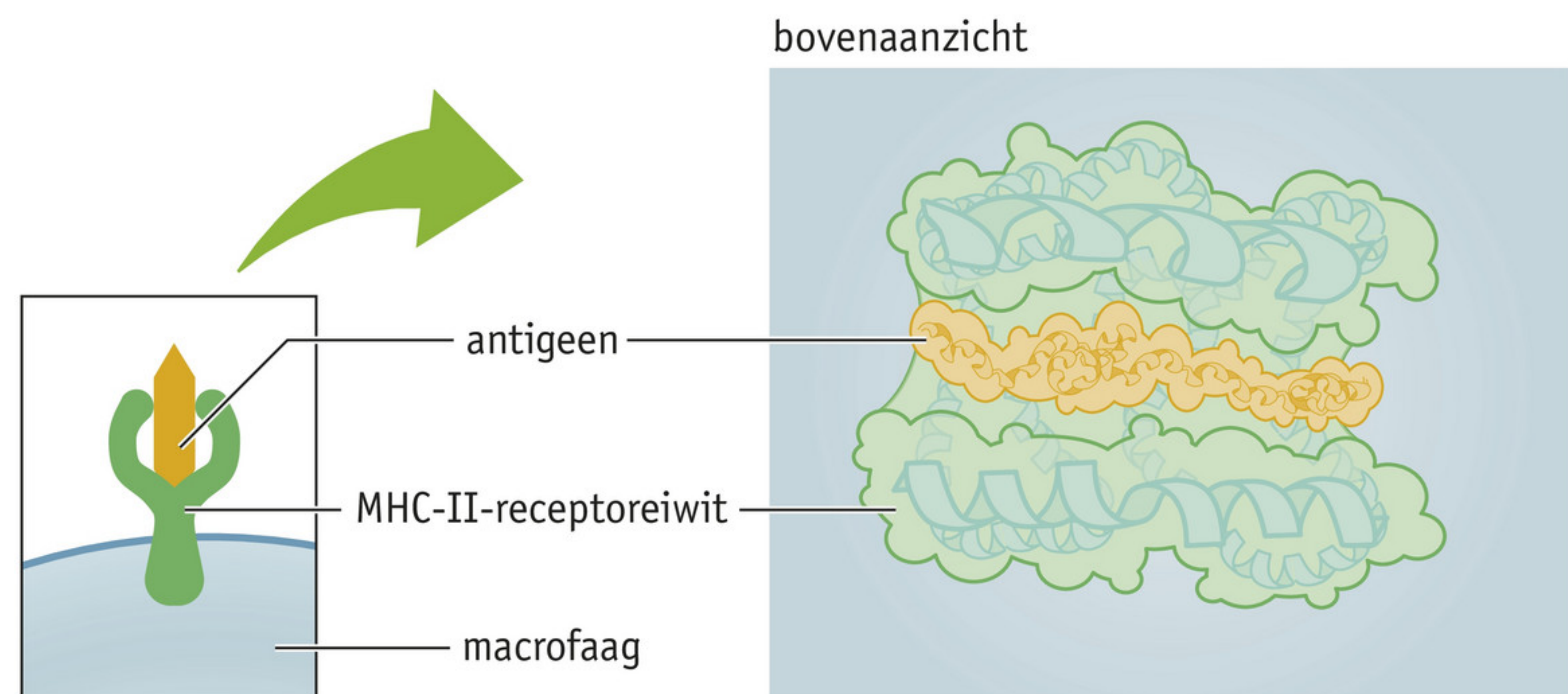
opdracht

- 9 De lymfocyten worden geactiveerd door antigeen-presenterende cellen.
 - a Op welke manier kunnen lymfocyten lichaamsvreemde antigenen herkennen?
 - b Een groot deel van de miljoenen verschillende lymfocyten wordt niet gebruikt.
Waarvoor maakt het lichaam toch zo'n groot aantal verschillende lymfocyten?
 - c Waardoor komt de verworven afweerreactie op een infectie langzamer op gang dan de aangeboren afweerreactie?

MHC-RECEPTOREN

Naast macrofagen kunnen ook dendritische cellen en B-lymfocyten zich ontwikkelen tot antigeen-presenterende cellen. Een binding tussen de antigeen-specifieke receptor van de lymfocyt en het antigeen van een ziekteverwekker kan alleen plaatsvinden als dat antigeen is gebonden aan een MHC-receptoreiwit (zie afbeelding 15). **MHC** is de afkorting van Major Histocompatibility Complex. Dat is een deel van het genoom dat codeert voor eiwitten die een rol spelen bij de herkenning van lichaamseigen en lichaamsvreemde (delen van) cellen en stoffen.

► **Afb. 15** MHC-II-receptoreiwit met antigeen.

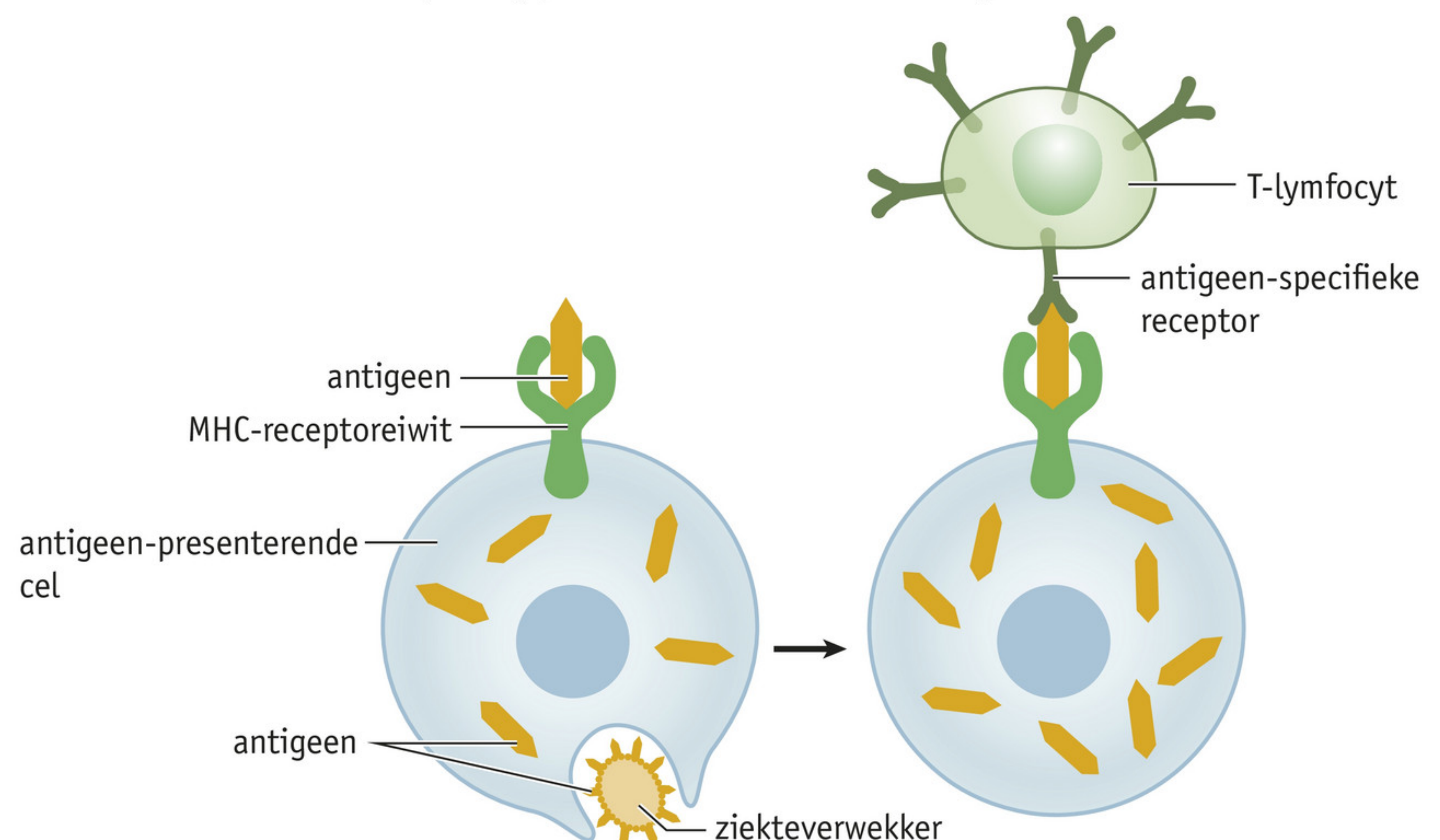


Er zijn twee groepen MHC-receptoren. **MHC-I-receptoren** komen voor op de buitenkant van alle cellen met een celkern in het menselijk lichaam. Ook komen ze voor op bloedplaatjes. MHC-I-receptoren presenteren enkele aminozuren van elk eiwit dat in een cel wordt gemaakt. Door die 'code' kan de cel worden herkend als lichaamseigen. Als een cel is geïnfecteerd met een ziekteverwekker, worden eiwitten (antigenen) van deze ziekteverwekker gebonden aan de MHC-I-receptoren. **MHC-II-receptoren** komen alleen voor op macrofagen, dendritische cellen en geactiveerde B-cellen. Eiwitten (antigenen) van gefagocyteerde ziekteverwekkers worden op deze receptor gepresenteerd.

CELLULAIRE RESPONS

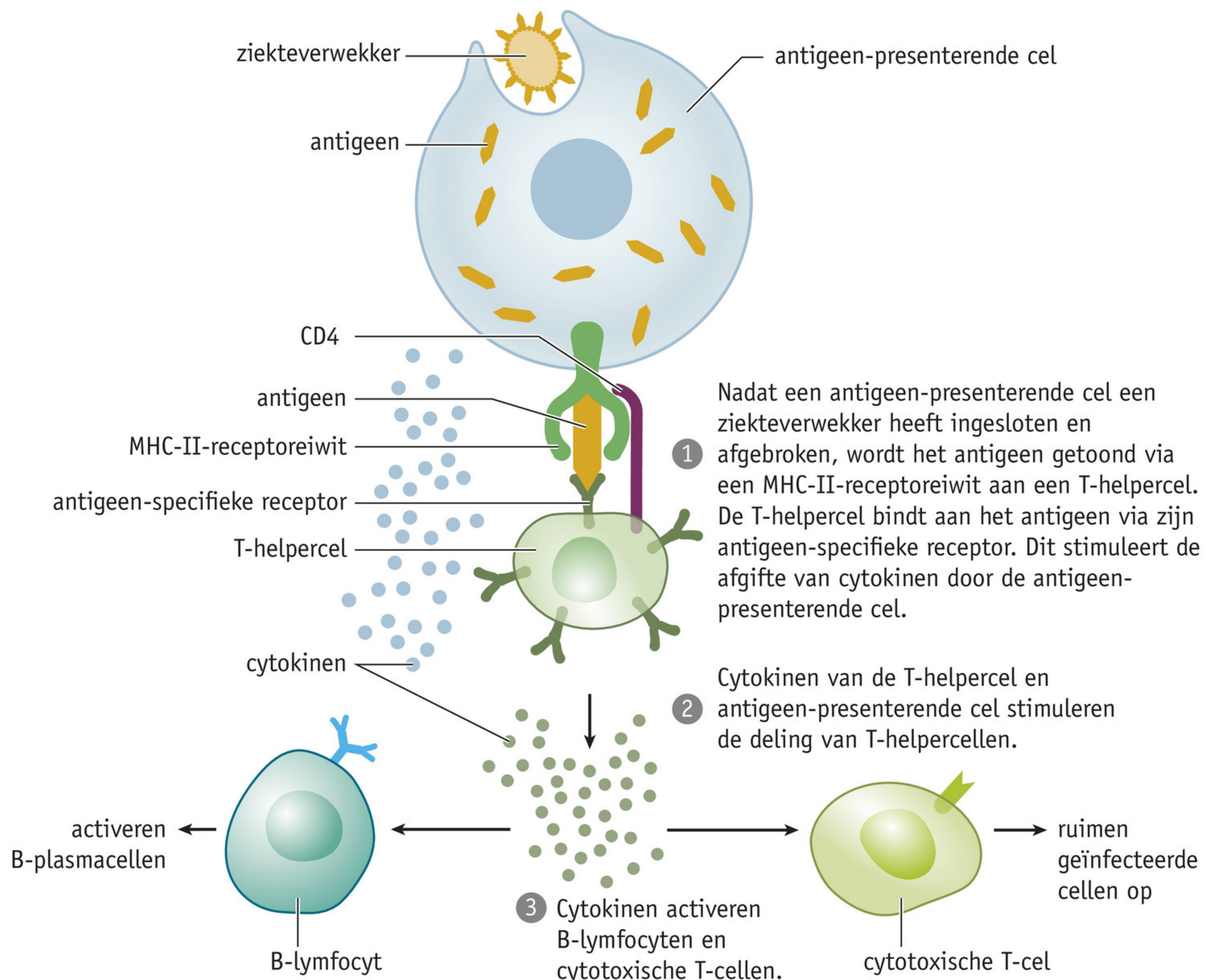
Als de APC de juiste T-lymfocyt heeft gevonden, vindt een koppeling plaats tussen de APC en de nog inactieve T-cel (zie afbeelding 16). De koppeling zorgt voor activatie van de T-lymfocyt, waarna deze zich veelvuldig deelt.

► **Afb. 16** Antigeenherkenning door een T-lymfocyt (activatie).



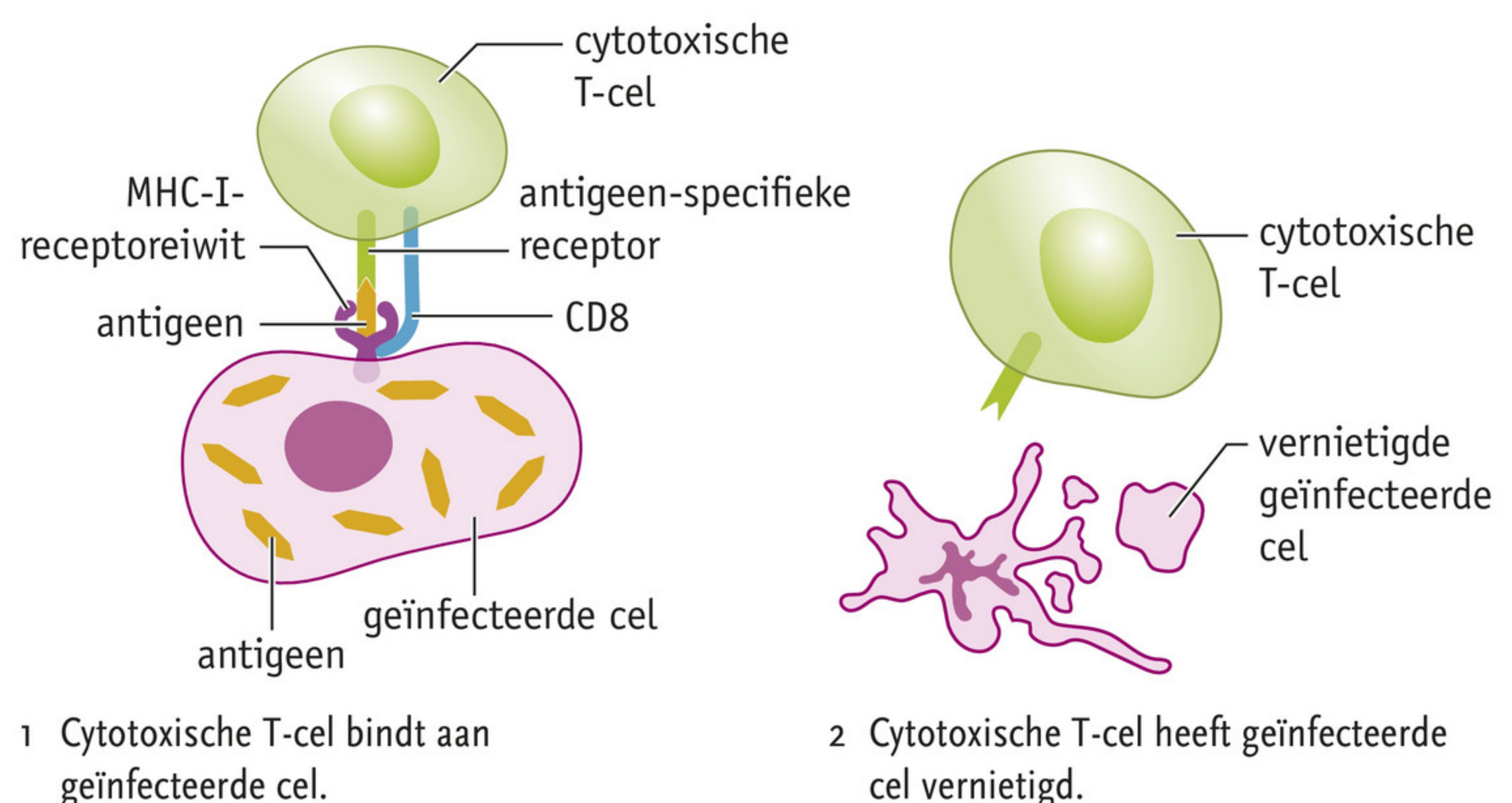
De dochtercellen kunnen zich ontwikkelen tot verschillende typen: T-helpercellen en cytotoxische T-cellen, die beide kunnen differentiëren tot T-geheugencellen. Het merendeel van de geactiveerde T-lymfocyten ontwikkelt zich tot **T-helpercellen (Th-cellen)**. Deze activeren andere cellen van het immuunsysteem, waaronder B-lymfocyten en cytotoxische T-cellen. Th-cellen geven verschillende soorten cytokinen af als ze zich binden aan een APC (zie afbeelding 17). Bij die binding maken de Th-cellen gebruik van **koppelingseiwitten**. Hierdoor ontstaat een sterkere binding. Het koppelingseiwit **CD4** bindt met het MHC-II-receptoreiwit.

▼ **Afb. 17** T-helpercellen spelen een centrale rol in de cellulaire respons.

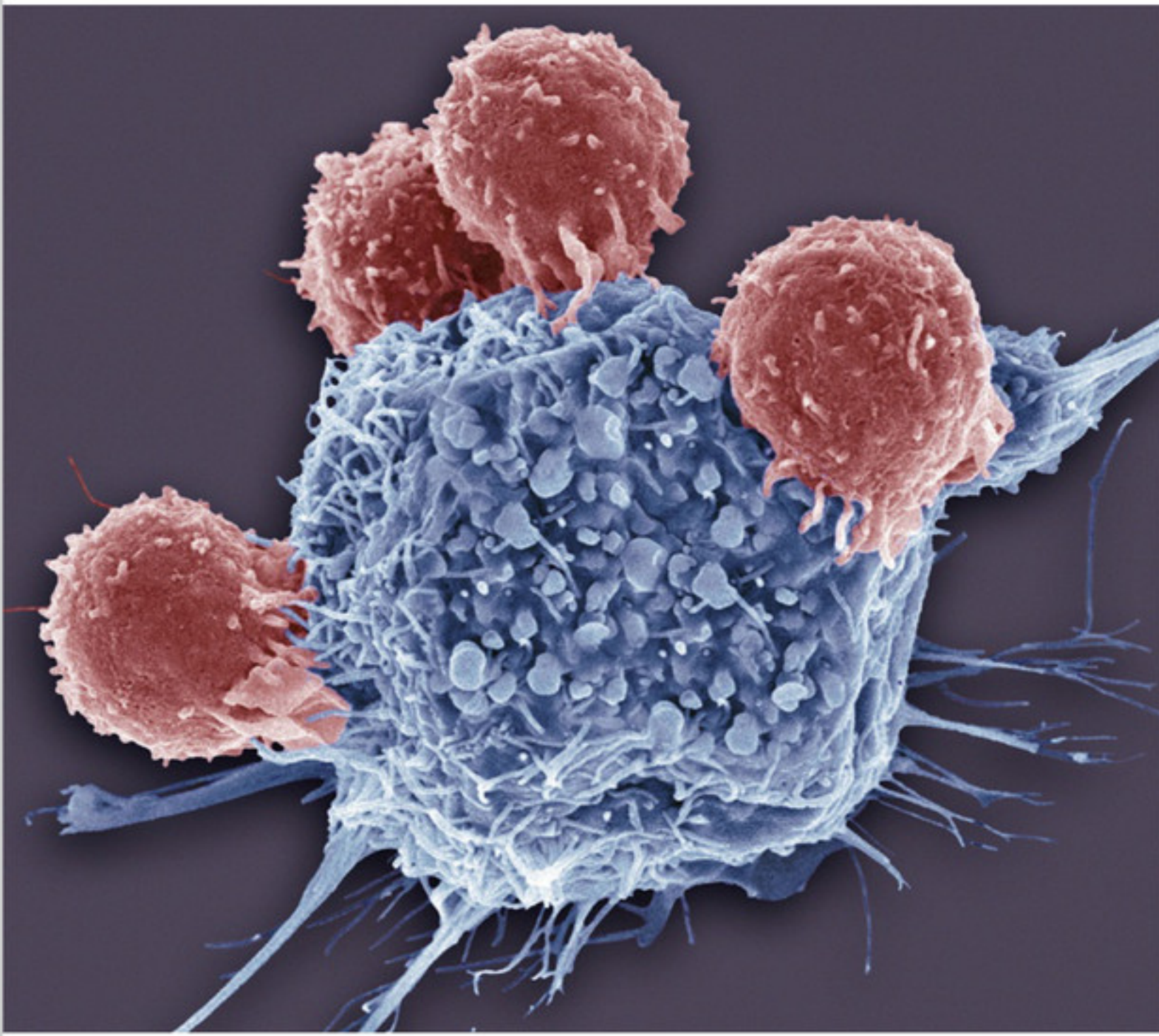


Bepaalde cytokinen stimuleren de ontwikkeling van **cytotoxische T-cellen (Tc-cellen)** in de lymfoïde organen. Tc-cellen ruimen grote aantallen met een virus geïnfecteerde lichaamscellen op, die ze herkennen aan het virusantigeen op het MHC-I-receptoreiwit van de cel (zie afbeelding 18).

► **Afb. 18** Cytotoxische T-cel vernietigt een geïnfecteerde cel.



▼ **Afb. 19** Vier Tc-cellen hechten zich aan een kankercel.



Bij deze binding maken Tc-cellen gebruik van het koppelingseiwit **CD8**.

Cytotoxische T-cellen ruimen ook andere ongezonde cellen op, bijvoorbeeld tumoren (zie afbeelding 19).

T-geheugencellen zijn langlevende Th- en Tc-cellen die bij een volgende infectie het antigeen direct herkennen. Daardoor kunnen ze zich snel ontwikkelen tot geactiveerde T-cellen en volgt een snellere afweerreactie.

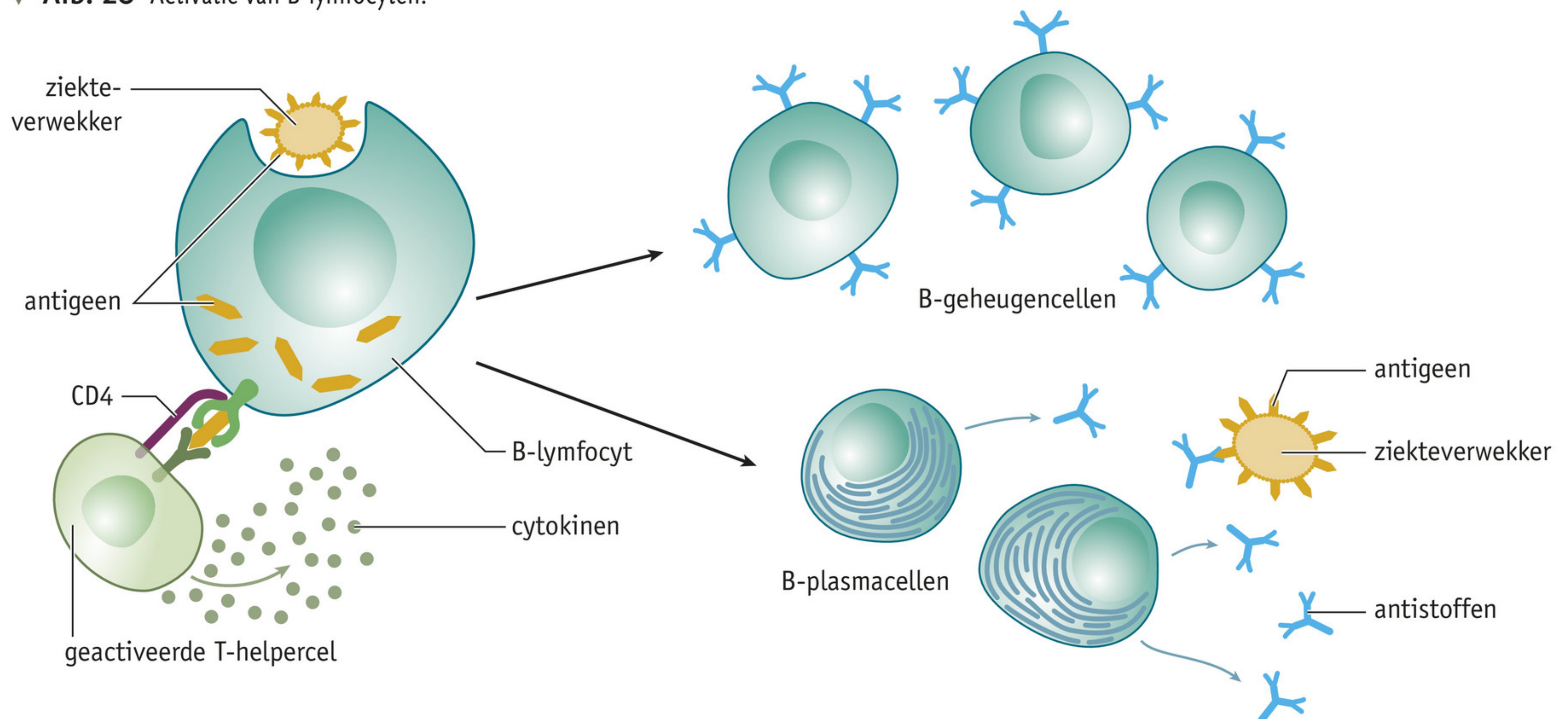
Deze vorm van afweer, waarbij geïnfecteerde cellen en tumorcellen worden opgeruimd door T-cellen, heet de **cellulaire respons** of cellulaire afweer.

HUMORALE RESPONS

B-lymfocyten kunnen ook worden geactiveerd door T-helpercellen, cytokinen of een APC. Geactiveerde B-lymfocyten gaan zich kloneren, waardoor B-plasmacellen en B-geheugencellen ontstaan (zie afbeelding 20). **B-plasmacellen** produceren specifieke antistoffen tegen de antigenen van de ziekteverwekker.

B-geheugencellen herkennen bij een nieuwe infectie met dezelfde ziekteverwekker het antigeen direct, waardoor ze zich snel kunnen ontwikkelen tot B-plasmacellen.

▼ **Afb. 20** Activatie van B-lymfocyten.

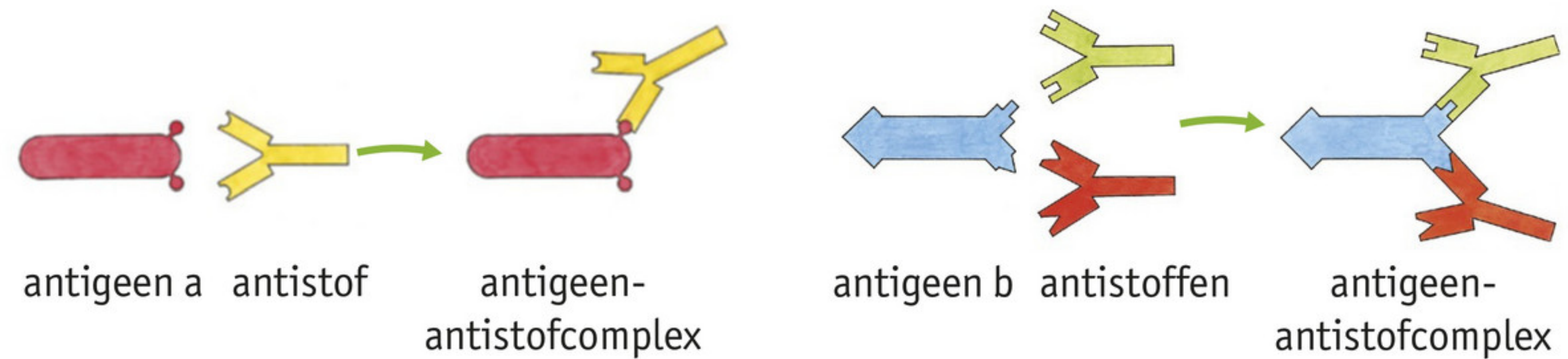


1 Een B-lymfocyt die antigenen heeft opgenomen via zijn receptoren, toont deze via een MHC-II-receptoreiwit aan een geactiveerde T-helpercel. De cytokinen van de T-helpercel activeren de B-lymfocyt.

2 Geactiveerde B-lymfocyten ontwikkelen zich tot B-geheugencellen en B-plasmacellen. B-plasmacellen scheiden specifieke antistoffen af die zich binden aan de antigenen van de ziekteverwekker.

Antistoffen of **immunoglobulinen (Ig)** zijn eiwitten. De immunoglobulinen die het meest voorkomen, hebben een Y-vorm (zie Binas tabel 84K). Daardoor worden antistoffen vaak weergegeven met de letter Y. Een antigeenmolecuul en een antistofmolecuul passen op elkaar als een sleutel op een slot (zie afbeelding 21.1). Hierdoor kunnen ze een **antigeen-antistofcomplex** vormen. Door de complexvorming wordt het antigeen of de ziekteverwekker waarop het antigeen zich bevindt, onschadelijk gemaakt. Dit kan op verschillende manieren. Door de complexvorming kan een antigeen als het ware worden afgedekt, waardoor de ziekteverwekker geen cel meer kan infecteren (zie afbeelding 22). Ook kan door de complexvorming het celmembraan van een lichaamsvreemde cel worden aangetast, waardoor de cel uiteenvalt. Vaak bevordert complexvorming de fagocytose van een ziekteverwekker (of de restanten ervan) door macrofagen.

- **Afb. 21** Vorming van een antigeen-antistofcomplex (schematisch).

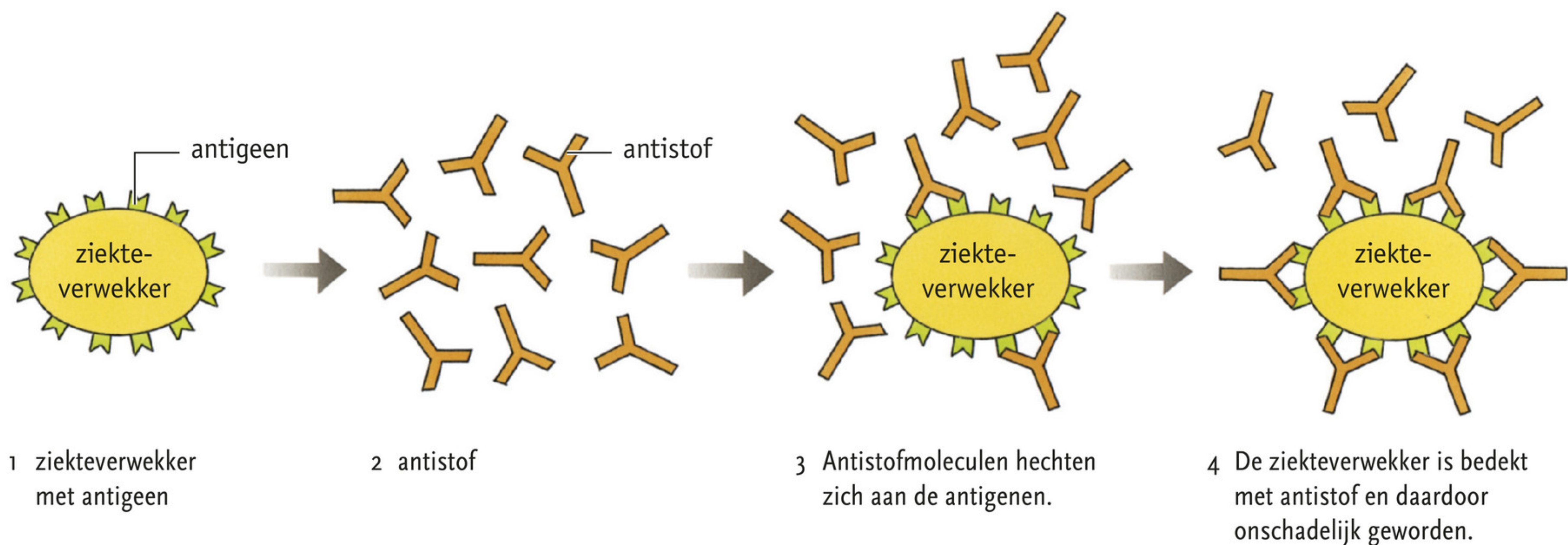


1 Tegen antigeen a wordt één type antistof gevormd.

2 Tegen antigeen b worden twee verschillende antistoffen gevormd.

Op sommige antigenen past één antistof, bij andere antigenen zijn twee antistoffen nodig om de ziekteverwekker onschadelijk te maken (zie afbeelding 21.2). Een B-plasmacel kan maar één type antistof vormen. Voor de bestrijding van sommige ziekteverwekkers zijn dus verschillende B-plasmacellen nodig.

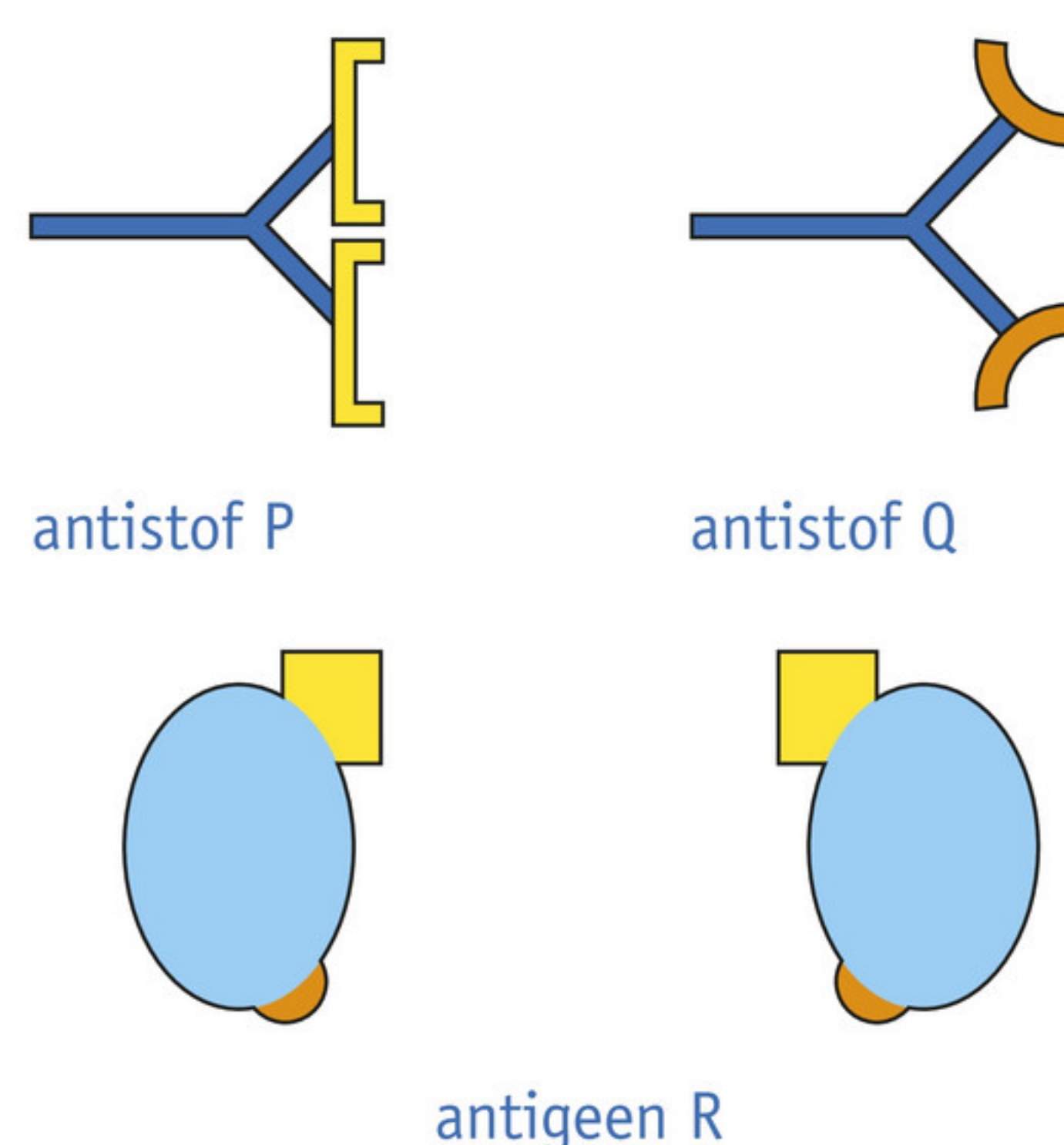
- ▼ **Afb. 22** Werking van een antistof.



Geactiveerde B-cellen kunnen heel snel grote hoeveelheden antistoffen produceren. De antistoffen komen in alle lichaamsvloeistoffen terecht (bloed, lymfe, weefselvloeistof, traanvocht, speeksel, vaginaal vocht, moedermelk, enzovoort). De afweer door antistoffen heet daarom de **humorale respons** of humorale afweer (humor = vocht). De humorale respons is gericht tegen bacteriën, virussen en andere ziekteverwekkers die zich buiten de cellen bevinden.

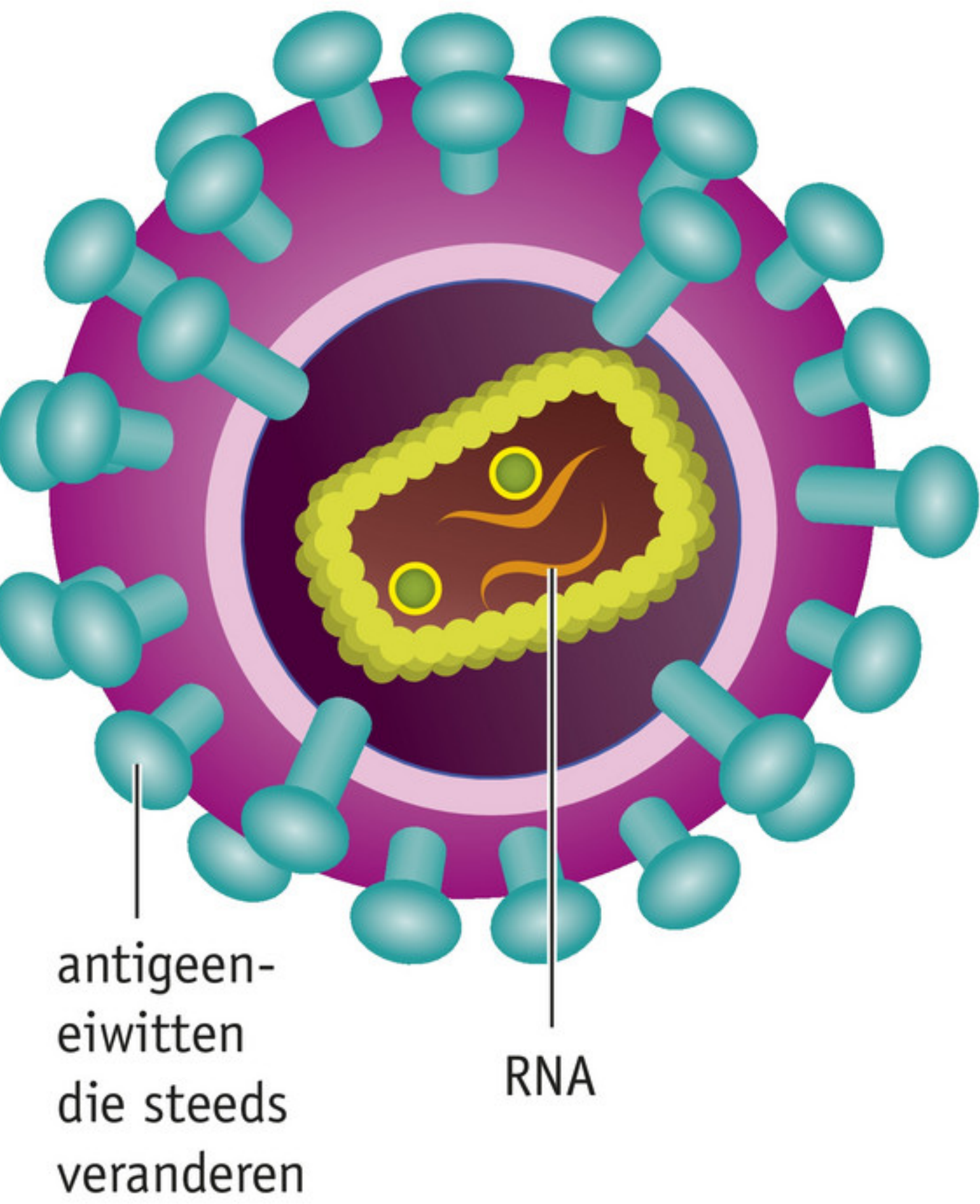
opdrachten

- ▼ **Afb. 23** Antistoffen en een antigeen.



- 10 Er zijn verschillende groepen antistoffen. Jonge B-lymfocyten produceren voornamelijk IgM- en IgD-antistoffen. Na activatie door een T-helpercel produceren ze IgA, IgG of IgE.
- a Welke groep van antistoffen komt het meest voor bij de mens?
- b Welke groep van antistoffen speelt een rol bij allergische reacties?
- 11 Aan een antigeenmolecuul kunnen zich tegelijkertijd verschillende antistofmoleculen binden. In afbeelding 23 zijn schematisch twee verschillende antistofmoleculen (P en Q) weergegeven en twee antigeenmoleculen (R) met elk twee bindingsplaatsen voor deze antistofmoleculen.
- a In sommige gevallen kunnen antigenen onschadelijk worden gemaakt door twee antigeenmoleculen aan elkaar te binden. Teken de situatie waarin de antistofmoleculen P en Q twee antigeenmoleculen R aan elkaar binden.

▼ Afb. 24 Aidsvirus.



- b Elke binding tussen een antistofmolecuul en een antigeenmolecuul kan weer worden losgemaakt.
Teken de vier mogelijke situaties waarbij een van de bindingen van vraag a is verbroken.
- c Antistoffen kunnen worden behandeld met een protease, waardoor de twee armen van het Y-vormige molecuul zich afsplitsen.
Zijn deze nieuwgevormde antistoffen in staat om te functioneren? Leg je antwoord uit.

- 12 Waardoor zijn antistoffen niet effectief tegen het aidsvirus (zie afbeelding 24)?
- 13 Lees het onderzoek over schaamhaar scheren en waterwratten in afbeelding 25.
 - a Het kan maanden duren voordat het immuunsysteem het virus heeft herkend en opgeruimd, waarna de bultjes verdwijnen.
Tussen welke delen van het virus en welke delen van het bloedserum vindt dan een reactie plaats?
 - b Formuleer een onderzoeksvraag op grond van het onderzoek.
 - c Formuleer een hypothese op grond van het onderzoek.
 - d Waardoor zou scheren van het schaamhaar de kans op een infectie met het virus groter maken?
 - e Waarom is het beter dat de wratten niet tussentijds worden weggehaald?
 - f Het experiment is niet goed opgezet. Zo ontbreekt er een controlegroep.
Beschrijf hoe jij een goed onderzoek zou opzetten.

▼ Afb. 25

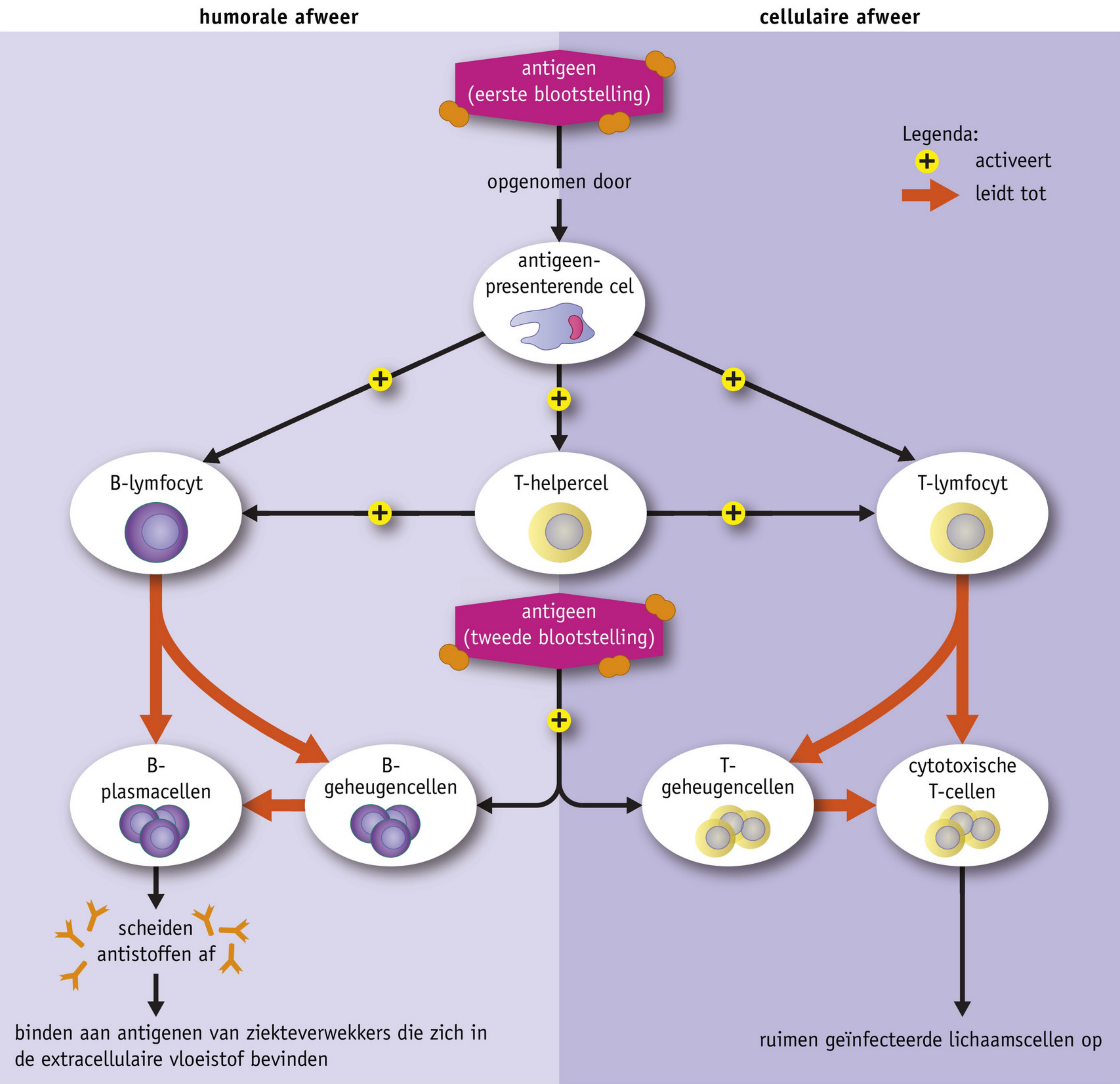
ONDERZOEK		SCHAAMHAAR SCHEREN LEIDT TOT MEER WATERWRATTEN
Inleiding	Waterwratten komen vooral bij peuters voor, bijvoorbeeld in het gezicht (zie de afbeelding). Ze worden veroorzaakt door een virus dat zich in huidcellen nestelt. Het kan maanden duren voordat het immuunsysteem het virus heeft herkend en opgeruimd, waarna de bultjes verdwijnen. Er is een toename van het aantal gevallen van waterwratten bij volwassenen waargenomen, bijvoorbeeld in de schaamstreek. Daarnaast is er een groeiend aantal mensen dat hun schaamhaar scheert.	 waterwratten rondom het oog
Onderzoeksvraag		
Hypothese		
Experiment	Bij 30 patiënten (26 mannen en 4 vrouwen) met het virus werd onderzocht of zij hun schaamhaar verwijderen.	
Resultaat	93% van de patiënten had hun schaamhaar verwijderd.	
Conclusie	Mensen die hun schaamhaar scheren, lopen een groter risico om waterwratten te krijgen.	

GEHEUGENCELLEN

Als de ziekteverwekker is opgeruimd, verdwijnen ook de B-plasmacellen. De B-geheugencellen blijven echter in leven, net als de T-geheugencellen. Bij een nieuwe infectie met dezelfde ziekteverwekker zijn er dan veel meer T-lymfocyten die kunnen worden geactiveerd. De B-geheugencellen gaan direct plasmacellen vormen, waardoor na korte tijd veel antistof aanwezig is. Op deze manier zorgen de geheugencellen voor een snellere afweerreactie, zodat je meestal niet meer ziek wordt. Je bent dan immuun geworden voor de ziekteverwekker.

Afb. 26 De werking van het immuunsysteem.

In afbeelding 26 is de werking van het immuunsysteem samengevat.



opdrachten

- 14** Bij de afweerreactie spelen eiwitten en herkenning een grote rol.
- a** Tot welke groep van MHC-eiwitten behoren de receptoreiwitten van macrofagen?
 - b** Bij de meeste infecties treedt bij een tweede infectie een snellere afweerreactie op.
Leg uit waardoor dit komt.
 - c** Als iemand besmet raakt met een voor die persoon nog onbekende bacterie, zijn niet meteen antistoffen in het bloed beschikbaar.
Leg uit hoe dat komt.
 - d** Leg uit waarom B-plasmacellen veel ribosomen bevatten.
- 15** Net na je geboorte leert je afweersysteem je lichaamseigen cellen kennen, waardoor deze niet worden aangevallen. Bij jongens begint in de puberteit de zaadcelproductie en het afweersysteem beschouwt de zaadcellen als lichaamsvreemd. Daarom worden zaadcellen tijdens hun productie en transport afgeschermd van de rest van het lichaam door de bloed-testisbarrière. Deze barrière wordt gerealiseerd door de sertolicellen op de binnenwanden van de zaadbuisjes.
Leg uit hoe bij mannen antistoffen tegen zaadcellen kunnen worden gevormd na sterilisatie, ontsteking of trauma van de zaadballen.
- 16** Bij de cellulaire afweer zijn antigeen-presenterende cellen, cytokinen, cytotoxische T-cellen, T-helpercellen en T-lymfocyten betrokken.
Geef in een schema de relatie weer tussen deze delen en zet erbij wat de functie van elk deel is. Begin het schema met virusantigeen.
- 17** Bij de humorale afweer zijn antistoffen, antigeen-presenterende cellen, B-lymfocyten, cytokinen, macrofagen, B-plasmacellen, T-helpercellen en T-lymfocyten betrokken.
Geef in een schema de relatie weer tussen deze delen en zet erbij wat de functie van elk deel is. Begin het schema met antigeen.
- 18** Soms wordt een kind geboren met een onvoldoende aangelegde thymus.
- a** Leg uit waardoor deze kinderen voortdurend infecties oplopen die maar moeizaam genezen.
 - b** Een macrofaagdeficiëntie is een stoornis in het afweersysteem.
Wat zou het gevolg kunnen zijn van een macrofaagdeficiëntie?

CONTEXT

Beroep

Hoogleraar celbiologie en immunologie

Huub Savelkoul (zie afbeelding 27) is professor en hoofd celbiologie en immunologie aan de Wageningen Universiteit. Na zijn vwo-examen studeerde hij biologie aan de Wageningen Universiteit, waar hij sinds 2000 hoogleraar is. Daarnaast werkt hij onder andere aan e-learning. Op de website van de Universiteit van Nederland (UvNL) vind je vijf online minicolleges over immunologie, waaruit duidelijk zijn enthousiasme voor immunologie blijkt. ‘Het is voor mij een uitdaging om de kennis over celbiologie en immunologie te verbeteren. Deze kennis zorgt ervoor dat mensen en dieren een betere weerstand krijgen tegen milieufactoren die schadelijk kunnen zijn voor onze gezondheid, zoals infecties, stressinductoren en voedingsmiddelen. Onze onderzoeksgroep analyseert immuunsysteem-beïnvloedende stoffen en factoren, bijvoorbeeld leefstijl. Hierbij onderzoeken we uiteraard ook de samenstelling en invloed van vaccins en de vorming en regulering van antistoffen door T-cellen.

Daarnaast houden we ons bezig met de hygiënehypothese. Die houdt in dat door de betere hygiëne en de uitroeiing van veel kinderziekten het menselijk immuunsysteem minder hard hoeft te werken, maar af en toe op hol slaat. De theorie bestaat al sinds 1989, toen uit een onderzoek bleek dat allergische ziekten minder voorkwamen bij kinderen die opgroeiden in grote gezinnen. Door veel onderlinge contacten staan deze kinderen aan meer infectiebronnen bloot dan kinderen in kleine gezinnen. Deze hygiënehypothese wordt inmiddels ondersteund door zowel epidemiologisch als medisch onderzoek. Een hard wetenschappelijk bewijs van de theorie is er echter nog steeds niet. Het zou prachtig zijn als wij dat hier in Wageningen voor elkaar zouden kunnen krijgen!’

▼ **Afb. 27** Professor Huub Savelkoul.



opdracht

- 19 Ga naar de website van de Wageningen Universiteit. Zoek naar de vakgroep Celbiologie en Immunologie (CBI).
 - a Wat is het doel van de leerstoelgroep Celbiologie en Immunologie?
 - b Wat vind je de leukste lopende onderzoeken van de leerstoelgroep CBI? Geef een korte toelichting.

Leerdoel

- Je kunt beschrijven op welke manieren immuniteit kan ontstaan.

3 Immuniteit

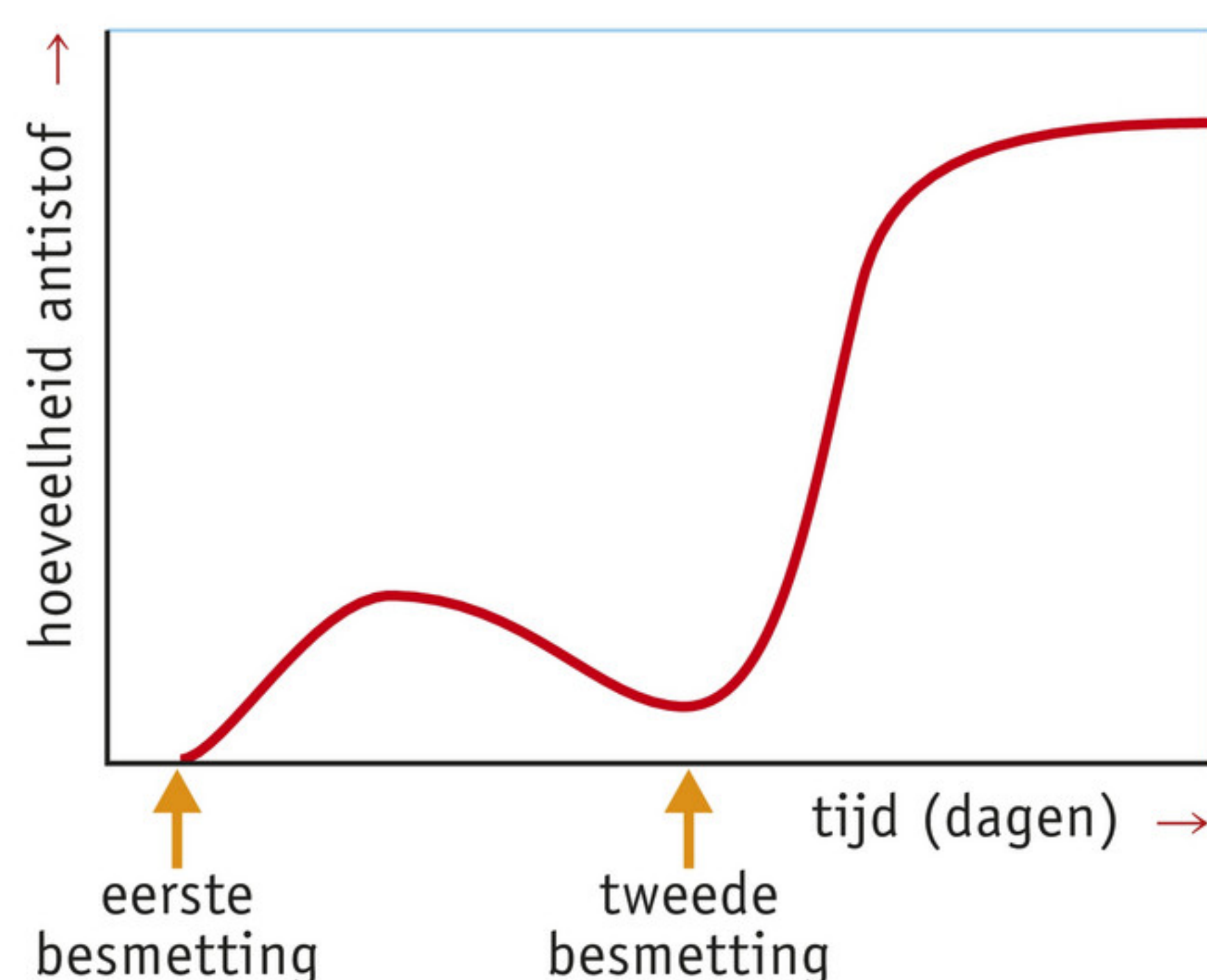
De Engelse arts Jenner besloot eind achttiende eeuw om James, de zoon van zijn tuinman, als 'proefkonijn' te besmetten met de koepokken (*vaccinia*) en hem daarna bloot te stellen aan de levensgevaarlijke mensenpokken. Het jongetje ging gelukkig niet dood en vaccinatie redde daarna miljoenen levens.

PRIMAIRE EN SECUNDAIRE REACTIE

Bij een eerste besmetting met een antigeen duurt het enkele dagen voordat er voldoende antistof is gevormd (zie afbeelding 28). Gedurende deze periode kun je ziek zijn. De tijd die verstrijkt tussen het binnendringen van de ziekteverwekker en het optreden van de eerste ziekteverschijnselen wordt **incubatietijd** genoemd. Als je voldoende antistof hebt gevormd, verdwijnen de symptomen. Na zo'n twee weken neemt de hoeveelheid antistof meestal niet meer toe. Deze eerste antistofvorming noem je de **primaire reactie**. Hierna wordt de antistof geleidelijk afgebroken.

Bij een tweede besmetting met hetzelfde antigeen zorgen de geheugencellen ervoor dat vrijwel onmiddellijk antistof wordt gevormd (de **secundaire reactie**). De hoeveelheid antistof wordt veel groter en neemt veel langzamer af dan bij de primaire reactie. Na een secundaire reactie blijft de antistof veel langer in het bloed aanwezig. Door de snelle secundaire reactie heb je bij een tweede besmetting meestal vrijwel geen ziekteverschijnselen. Je bent door de primaire reactie **immuun** geworden.

► **Afb. 28** Primaire en secundaire reactie bij antistofvorming.



▼ **Afb. 29** Kind met waterpokken.

**NATUURLIJKE EN KUNSTMATIGE IMMUNITEIT**

Immuniteit die ontstaat als reactie op het binnendringen van een ziekteverwekker, noem je **natuurlijke immuniteit**. Bij veel kinderziekten is sprake van natuurlijke immuniteit, bijvoorbeeld na waterpokken (zie afbeelding 29). De opgebouwde immuniteit bij kinderziekten is meestal levenslang. **Kunstmatische immuniteit** wordt opgewekt door opzettelijke blootstelling aan een antigeen. Dat heet **immunisatie**. Natuurlijke immuniteit geeft een veel langere bescherming, omdat de persoon wordt blootgesteld aan de echte ziekteverwekker.

Een voorbeeld van immunisatie is **vaccinatie**: de toediening van een stof die het afweersysteem activeert en daardoor immuniteit opwekt (het **vaccin**). Meestal gebeurt vaccinatie door middel van inenting (zie afbeelding 30). Het vaccin bestaat uit gedode of verzwakte ziekteverwekkers of delen van ziekteverwekkers. Soms

▼ Afb. 30 Vaccinatie door inenting.



worden alleen gezuiverde antigenen van ziekteverwekkers toegediend. Als reactie op het vaccin gaat het afweersysteem antistof maken tegen het antigeen van de ziekteverwekker. Geheugencellen (zowel B-cellen als beide typen T-cellen) zorgen voor immuniteit bij een latere besmetting.

In Nederland worden vrijwel alle kinderen binnen het Rijksvaccinatieprogramma ingeënt tegen infectieziekten (zie afbeelding 31). Het vaccinatieprogramma is erg succesvol tegen ziekten die vroeger leidden tot de dood of tot mindervaliditeit, zoals polio en mazelen.

Het vaccineren van kinderen brengt weinig risico’s met zich mee: minder dan één op de miljoen reageert met een allergische reactie op vaccinatie tegen mazelen. De ziekte zelf kan daarentegen erg gevaarlijk zijn: één op de duizend patiënten krijgt acute hersenontsteking met mogelijk blijvende hersenschade. Toch zijn er ouders die hun kinderen niet of niet volledig laten inenten, meestal uit religieuze overwegingen of door gebrek aan kennis over vaccineren. Een hoge vaccinatiegraad (het percentage kinderen dat is ingeënt) is bij de meeste ziekten nodig om de bevolking als geheel te beschermen tegen uitbraken.

►► PRACTICUMOPDRACHT 1

▼ Afb. 31 Het Rijksvaccinatieprogramma.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Vaccinatieschema Rijksvaccinatieprogramma

Fase 1	Inenting 1	Inenting 2
 6-9 weken	DKTP Hib HepB	Pneu
 3 maanden	DKTP Hib HepB	
 4 maanden	DKTP Hib HepB	Pneu
 11 maanden	DKTP Hib HepB	Pneu
 14 maanden	BMR	MenC

Fase 2	Inenting 1	Inenting 2
 4 jaar	DKTP	

Fase 3	Inenting 1	Inenting 2
 9 jaar	DTP	BMR

Fase 4	Inenting 1	Inenting 2
 12 jaar	HPV*	HPV * (6 maanden later)

Betekenis afkortingen

D Difterie

K Kinkhoest

T Tetanus

P Polio

Hib Haemophilus influenzae type b

HepB Hepatitis B

Pneu Pneumokokken

B Bof

M Mazelen

R Rodehond

MenC Meningokokken C

HPV Humaan Papillomavirus

* Alleen voor meisjes



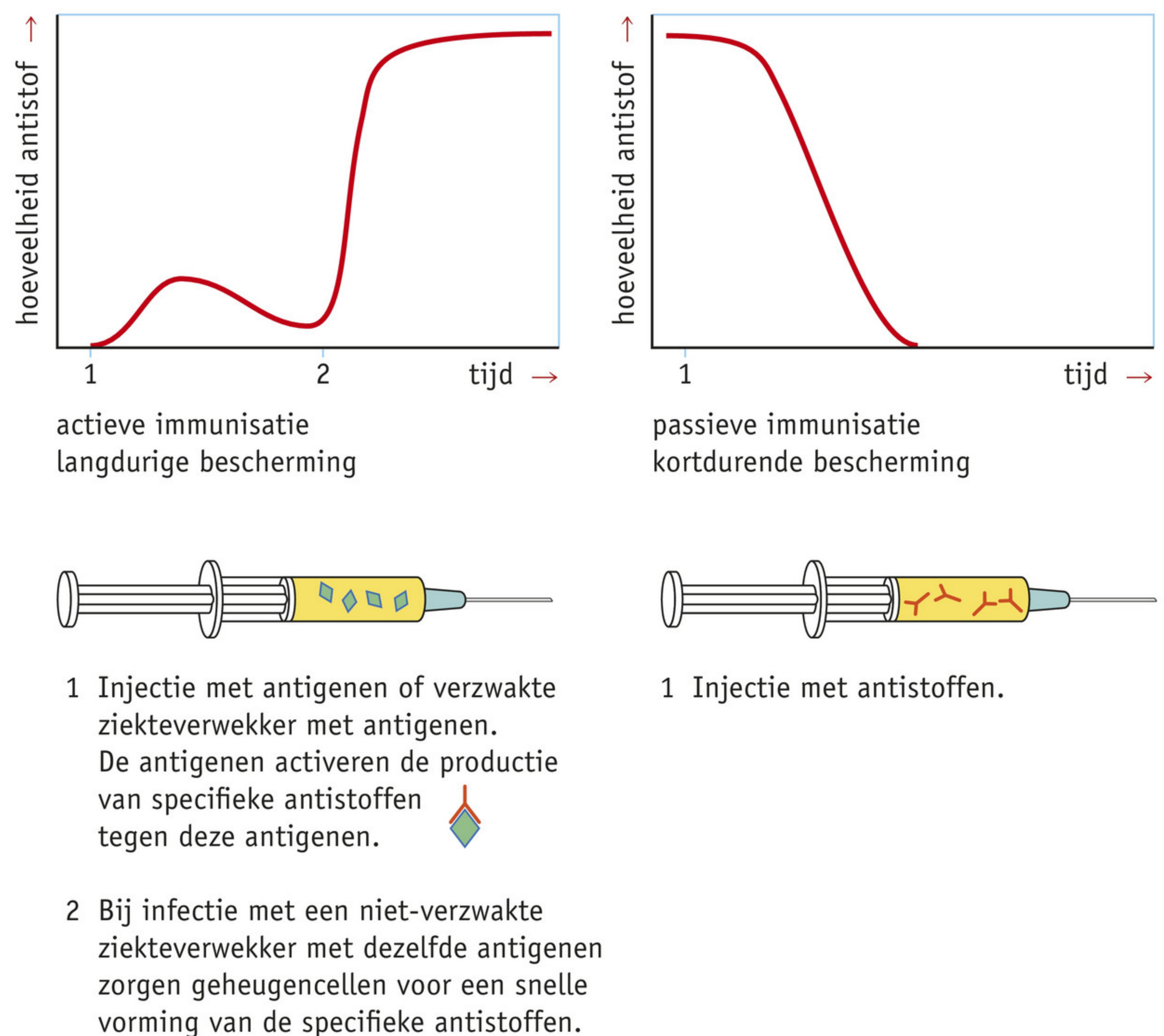
opdrachten

- 20** De meeste kinderziekten hebben een redelijk onschuldig, mild verloop. Na besmetting krijgt het kind één tot vijf dagen (hoge) koorts en is het hangerig. Na een paar dagen is het meestal weer beter.
- a** Bij een besmetting wordt onderscheid gemaakt tussen een primaire en secundaire reactie.
Waardoor verloopt de secundaire reactie sneller en heviger dan de primaire reactie?
 - b** Ziekteverwekkers van typische kinderziekten komen vaker voor dan andere ziekteverwekkers.
Leg uit hoe het komt dat kinderziekten bij volwassenen toch vrijwel niet voorkomen.
 - c** Mazelen is geen onschuldige kinderziekte. Het mazelenvirus verzwakt bijvoorbeeld het afweersysteem tot wel twee jaar. Hierbij verdwijnen geheugencellen. Het gevolg hiervan is dat met mazelen besmette mensen vatbaarder worden voor infecties met andere ziekteverwekkers. Jaarlijks sterven wereldwijd meer dan honderdduizend mensen (vooral kinderen) aan de ziekte.
Leg uit dat na het doormaken van mazelen en na vaccinatie dezelfde immuniteit voor mazelen ontstaat.
 - d** Door vaccinatie tegen mazelen ontstaat immuniteit.
Geef nog een reden waarom het belangrijk is dat mazelen is opgenomen in het vaccinatieprogramma.
 - e** Verkoudheid en griep worden net als de mazelen veroorzaakt door een virus. Waardoor kan tegen mazelen wel, maar tegen verkoudheid en griep geen blijvende immuniteit ontstaan?
- 21** Zoönoses zijn infecties die kunnen worden overgedragen van dieren op mensen (en andersom). Voorbeelden zijn Q-koorts en rabiës. Wilde watervogels zijn natuurlijke gastheren voor influenza A-virussen. Door de vogeltrek komen ze in contact met veel andere diersoorten en de mens. Trekvogels verspreiden verschillende influenza A-subtypen (griep). De virussen komen via de keutels in het water van meertjes en poelen. Zo'n poel wordt dan een 'ware virussoep'. Er wordt veel onderzoek gedaan naar de influenzabronnen, omdat ze informatie geven over de evolutie- en aanpassingsprocessen van de virussen.
Leg uit waardoor deze influenza A-subtypen zo gevaarlijk zijn voor mensen.
- 22** Een uitbraak van de longpest op Madagaskar heeft in 2017 het leven geëist van minstens 94 mensen. Longpest is de meest besmettelijke vorm van pest, omdat deze wordt overgedragen van mens op mens via hoesten. De symptomen lijken op een ernstige longontsteking en leiden onbehandeld vaak tot de dood. De WHO (World Health Organization) heeft het land voorzien van antibiotica voor zo'n honderdduizend mensen.
- a** Wordt de pest veroorzaakt door een virus of een bacterie? Leg je antwoord uit.
 - b** Zou er tegen longpest ook preventief kunnen worden gevaccineerd? Zo ja, op welke wijze zou dat dan kunnen?

ACTIEVE EN PASSIEVE IMMUNISATIE

Wanneer iemand door vaccinatie immuun wordt voor een ziekte, noem je dat **actieve immunisatie**. Het afweersysteem reageert actief op de ziekteverwekker en zorgt onder andere voor de aanmaak van geheugencellen die een langdurige bescherming geven. In sommige (nood)gevallen wordt **passieve immunisatie** toegepast. Bij passieve immunisatie worden direct antistoffen ingespoten. Dat gebeurt bijvoorbeeld wanneer iemand is gebeten door een giftige slang of spin. Het lichaam maakt dan niet zelf antistoffen en geheugencellen aan. Daarom geeft passieve immunisatie slechts kortdurende bescherming (zie afbeelding 32). De antistoffen worden toegediend in de vorm van **antiserum**: bloedplasma zonder stollingseiwitten van een mens of dier dat immuun is gemaakt tegen bepaalde vergiften of ziekteverwekkers. Een antiserum bevat dus veel specifieke antistoffen. Een nadeel van het toedienen van antiserum is dat in het bloed van het dier vele verschillende antistoffen voorkomen. Dit kan soms leiden tot een ernstige allergische reactie, waarbij het afweersysteem van de mens reageert tegen de dierlijke antistoffen.

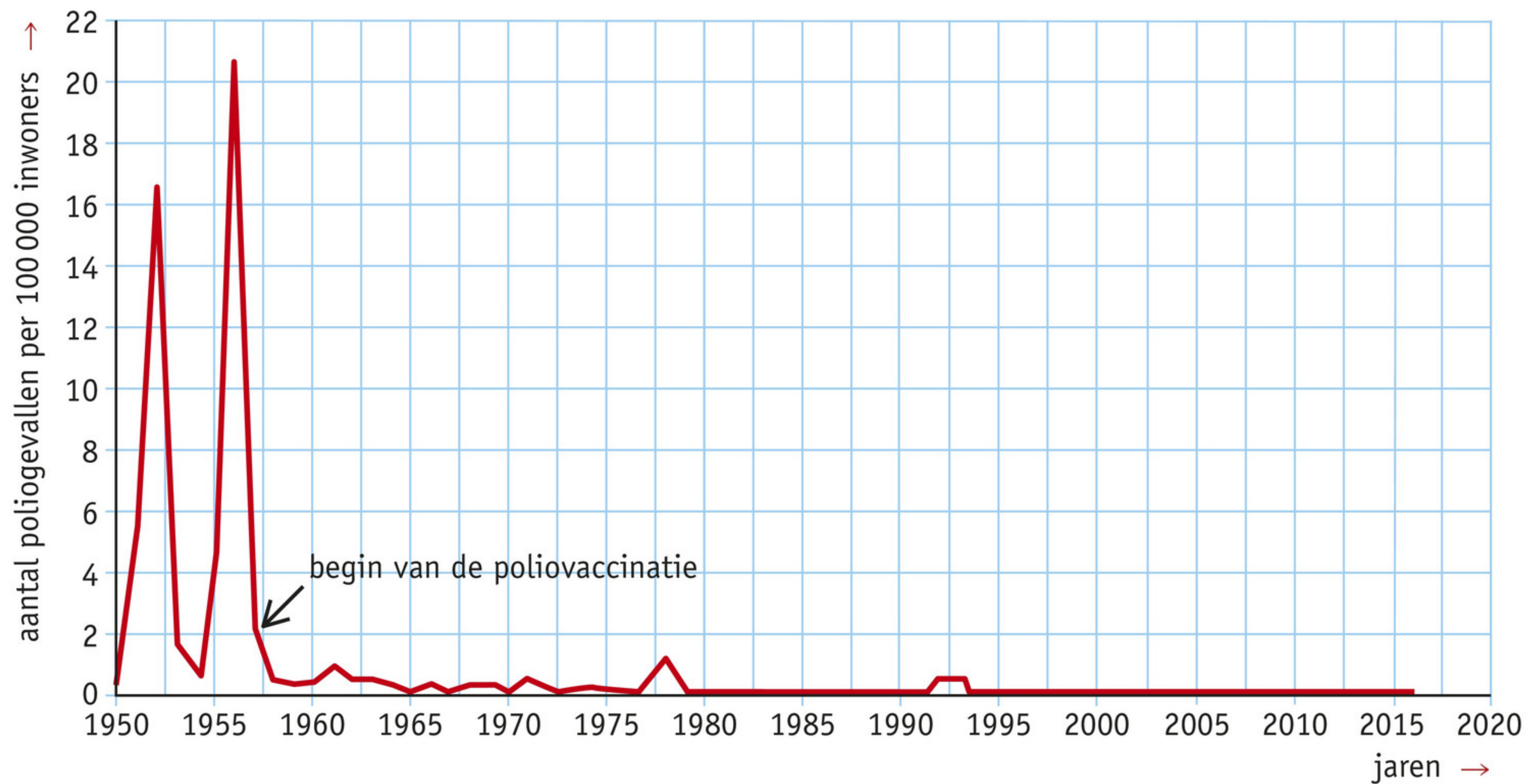
► **Afb. 32** Actieve en passieve immunisatie.



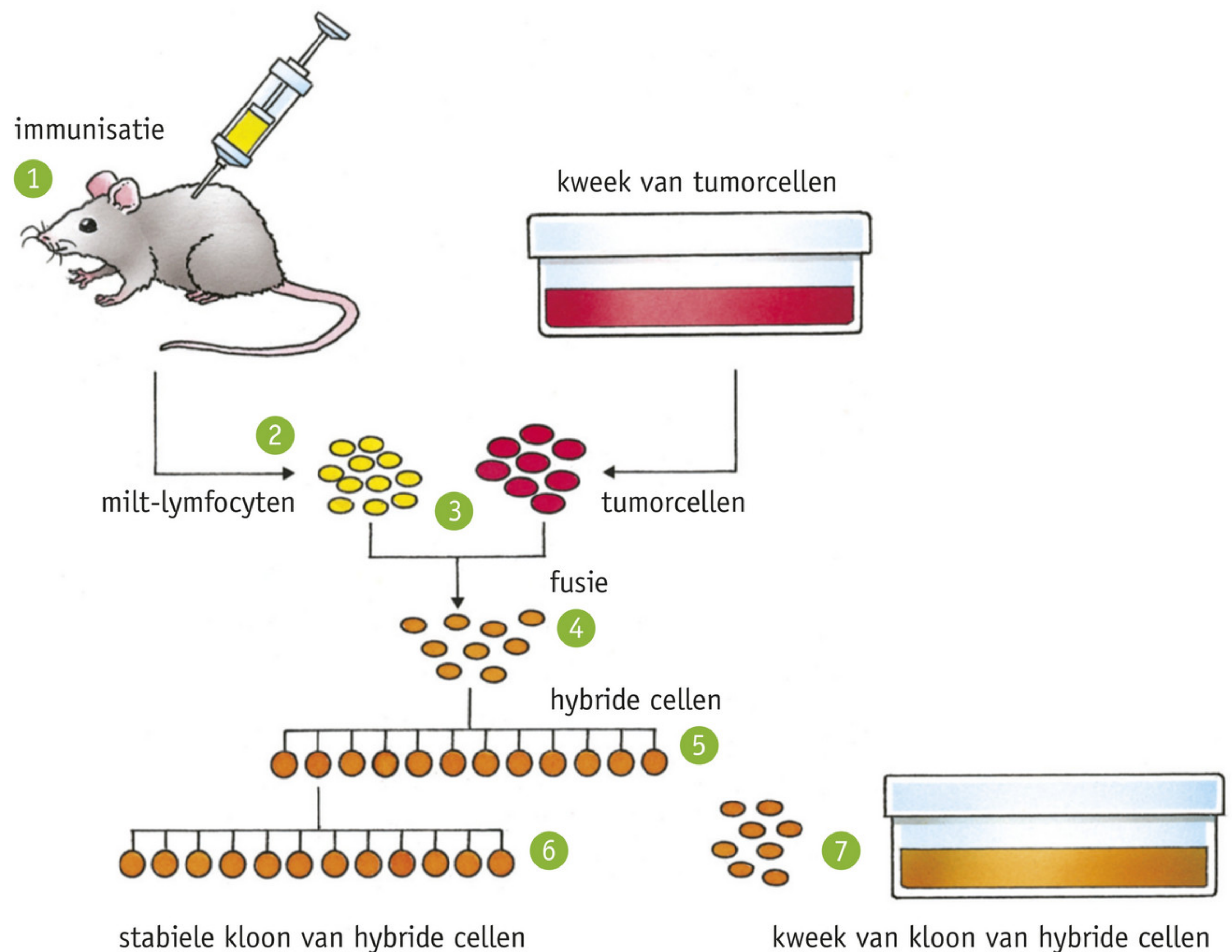
opdrachten

- 23** Immunisatie is het opwekken van immuniteit door blootstelling aan een antigeen.
- Wat is het verschil tussen actieve en passieve immunisatie?
 - Worden bij actieve immunisatie geheugencellen gevormd? En bij passieve immunisatie?
 - Hoe komt het dat een kind dat een DKTP-Hib-HepB-prik krijgt vaak een dag een beetje ziek is?

- 24** Het afweersysteem van een foetus is nog niet actief. Toch komen in het bloed van een foetus IgG-antistoffen voor.
- a** Op welke manier zijn deze antistoffen daar terechtgekomen?
 - b** Na de geboorte en gedurende de borstvoeding komen in het bloed van de zuigeling ook andere antistoffen voor.
Op welke manier komen deze antistoffen in de baby?
 - c** Bij zuigelingen kun je spreken van passieve natuurlijke immuniteit. Leg dat uit.
 - d** Zoek op het internet naar gevolgen van een minder goed ontwikkeld afweersysteem bij baby's.
- 25** Lees de introductie bij deze basisstof.
Welke conclusie kun je trekken over het antigeen bij koepokken en bij (mensen)pokken?
- 26** Tetanus is een infectieziekte die gepaard gaat met spierkrampen. Iemand die met tetanusbacteriën is besmet, kan passief worden geïmmuniseerd door een injectie met antiserum. Vroeger werd dit serum verkregen door bloed af te nemen bij een dier (bijvoorbeeld een paard) dat bij herhaling met kleine hoeveelheden tetanusbacteriën was ingespoten. Als een patiënt nog meer injecties nodig had, kreeg hij niet opnieuw paardenserum. De ervaring had geleerd dat er dan heftige reacties konden optreden. De patiënt kreeg dan serum van een rund of een schaap. Tegenwoordig worden menselijke antistoffen toegediend.
- a** De immuniteit die ontstaat door het toedienen van een serum is slechts van korte duur.
Leg uit waardoor dat komt.
 - b** Wat is de verklaring voor de heftige reactie bij het opnieuw toedienen van paardenserum?
- 27** Polio wordt veroorzaakt door een virus dat zenuwcellen aantast. Sinds begin jaren vijftig van de vorige eeuw wordt in Nederland op grote schaal gevaccineerd. Sindsdien is het aantal poliogeallen sterk afgenomen, ook in gebieden waar niet alle kinderen worden gevaccineerd (zie afbeelding 33).
- a** Noem een reden waarom ouders hun kind(eren) niet laten inenten tegen polio of mazelen.
 - b** Hoewel het poliovirus voortdurend in Nederland aanwezig is en steeds een percentage van de bevolking niet is gevaccineerd, traden in 2000 geen gevallen van polio op.
Leg uit waarom niet.
 - c** Wat zou jij doen als jij voor de keuze zou staan: wel of niet jouw kind laten inenten? Licht je antwoord toe.

▼ **Afb. 33** Polio in Nederland.

- 28** Met behulp van biotechnologie kunnen antistoffen van één type worden geproduceerd. Dit noem je een monoklonale antistof (zie afbeelding 34).
- a** Bij de productie van monoklonale antistoffen worden de besmette muizen immuun.
Is dit actieve of passieve immunisatie? Leg je antwoord uit.
- b** De monoklonale antistoffen worden gebruikt om besmette personen te behandelen.
Is hier sprake van actieve of passieve immunisatie? Leg je antwoord uit.
- c** Tot welk type lymfocyten behoren de cellen die tot de kloon van hybridecellen leiden? Leg je antwoord uit.

► **Afb. 34** De productie van monoklonale antistof.

CONTEXT

Wetenschap

▼ **Afb. 35** Laboratoriumonderzoek naar bestrijding van kanker met behulp van immunotherapie.



Immunotherapie

Kanker is een moeilijk te genezen ziekte, ondanks de verschillende behandelmethoden waarover artsen beschikken, zoals bestraling, chirurgische verwijdering en chemotherapie. Dit komt doordat kankercellen sterk gemuteerde lichaamscellen zijn die voortdurend delen. Daardoor is de kans groot dat medicijnen die kankercellen bestrijden ook gezonde lichaamscellen doden. Immunotherapie biedt nieuwe hoop. Hierbij wordt het eigen afweersysteem ingezet tegen ziekte.

Kankercellen bezitten andere antigenen dan gewone lichaamscellen. Sommige afweercellen zien deze antigenen als lichaamsvreemd, waardoor ze de kankercellen toch herkennen en opruimen.

Kankercellen delen en muteren echter voortdurend, waardoor steeds andere antigenen verschijnen op de buitenkant van nieuwe kankercellen. Samen met de snelle celdeling zorgt dit voor een mix van verschillende kankercellen met een woud van verschillende antigenen. Het afweersysteem lijkt hier machteloos tegenover te staan.

Bij immunotherapie tegen kanker wordt het afweersysteem versterkt.

Wetenschappers zijn erachter gekomen dat elke kankercel naast vele nieuwe antigenen ook nog steeds het oorspronkelijke antigeen heeft. Met deze kennis kan een vaccin worden ontwikkeld waardoor het afweersysteem kankercellen herkent en bestrijdt. Ook is het gelukt de oorspronkelijke afweercellen die de eerste kankercellen wisten te herkennen te isoleren. Deze afweercellen zitten vaak ingesloten in vroege tumoren. In de toekomst is hierdoor immunotherapie ‘op maat’ mogelijk: deze afweercellen vermenigvuldigen in een laboratorium en daarna terugplaatsen in de patiënt.

opdrachten

- 29 a** Valt vaccineren ook onder immunotherapie? Leg je antwoord uit.
b Bij orgaantransplantatie wordt het afweersysteem van de ontvanger verzwakt om afstoting van het nieuwe orgaan te voorkomen. Is dit een voorbeeld van immunotherapie?
- 30** In de toekomst is wellicht immunotherapie ‘op maat’ mogelijk.
a Noteer twee voordelen van immunotherapie ‘op maat’.
b Elke kankercel heeft naast vele nieuwe antigenen ook nog steeds het oorspronkelijke antigeen. Beschrijf hoe met deze kennis een vaccin kan worden ontwikkeld.

Leerdoel

- Je kunt beargumenteren welke problemen kunnen ontstaan door antigenen bij transplantaties en bloedtransfusies en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.

4 Transplantatie en bloedtransfusie

Vroeger gingen veel mensen dood na een transplantatie en ook bloedtransfusies waren geen succes. Pas na de ontdekking van de bloedgroepen door Karl Landsteiner in 1901 ging het stukken beter.

TRANSPLANTATIE

Bij een **transplantatie** wordt een aangetast weefsel of orgaan vervangen. Het nieuwe weefsel of orgaan kan afkomstig zijn van de patiënt zelf (de **acceptor**), maar ook van iemand anders (een **donor**). Als het weefsel of orgaan afkomstig is van een donor, is er kans op een **afstotingsreactie**. Deze afweerreactie wordt opgewekt door MHC-eiwitten op de celmembranen van het getransplanteerde weefsel of orgaan. Deze MHC-eiwitten worden door het afweersysteem van de acceptor gezien als antigenen.

Dankzij het Major Histocompatibility Complex (MHC) kunnen lymfocyten de eigen cellen onderscheiden van lichaamsvreemde cellen. Bij mensen wordt dit systeem Human Leukocyte Antigen (**HLA**) genoemd.

Voorafgaand aan een transplantatie moet worden onderzocht of het HLA-systeem van de donor past bij het HLA-systeem van de acceptor. Aangezien de kans hierop klein is, is er een internationaal registratiesysteem ontwikkeld om geschikt donormateriaal voor een acceptor te vinden. Wanneer een donororgaan beschikbaar komt, bijvoorbeeld na een ongeval, kan via dit systeem snel worden bekeken voor welke patiënt dit orgaan het meest geschikt is (**HLA-matching**).

De HLA-systemen van donor en acceptor komen vrijwel nooit 100% overeen. Afstotingsreacties treden vooral op doordat T-cellen van de acceptor de antigenen op de membranen van de donorcellen herkennen. Donorcellen worden dan door de T-cellen vernietigd. Afstotingsreacties door de vorming van antistoffen door de acceptor komen veel minder vaak voor. Als ze voorkomen, leiden ze vaak tot **acute afstoting**. Afstotingsreacties kunnen worden onderdrukt met medicijnen die het gehele afweersysteem onderdrukken.

DONORREGISTRATIE

Alle Nederlandse ingezetenen van 18 jaar en ouder krijgen een **donorverklaring** toegestuurd. Daarmee kun je aangeven of je wel of geen orgaandonor wilt zijn. Tegenwoordig kan dit ook eenvoudig online (zie afbeelding 36). De gegevens worden centraal geregistreerd in het **Donorregister**. Een arts kan bij overlijden meteen in het register nagaan welke beslissing iemand heeft genomen, zodat een donororgaan snel bij de juiste patiënt terechtkomt. Snelheid is geboden, want een hart bijvoorbeeld kan slechts ongeveer vier uur in goede toestand worden bewaard. Er zijn in Nederland meer mensen die een donororgaan nodig hebben dan er organen beschikbaar komen. Om het tekort tegen te gaan wordt in juli 2020 de Wet op de orgaandonatie gewijzigd. Onder de nieuwe wet wordt iedereen die zelf geen keuze maakt, geregistreerd als orgaandonor ('geen bezwaar').

► **Afb. 36** Donorregistratie via DigiD.

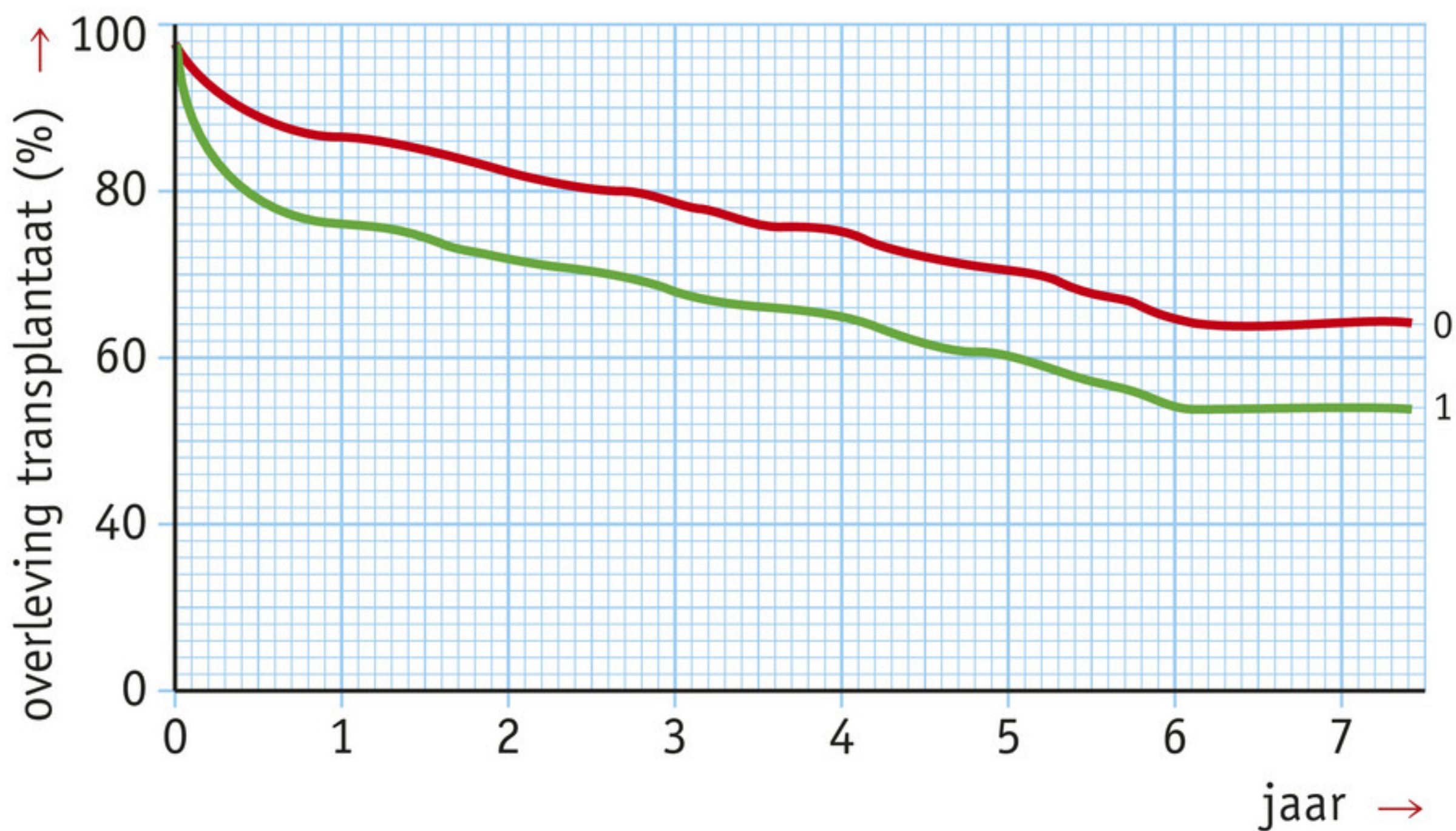
The screenshot shows the 'Donorregister' website. At the top, there is a navigation bar with links: Home, Uw registratie, Informatie over donorregistratie, Medische procedure orgaandonatie, and Over het Donorregister. Below the navigation bar, the page title is 'Uw registratie'. The main content area explains that users can register in two ways: using DigiD (the fastest method) or filling out a form (which can be done online or by post). It then presents two columns: 'Heeft u een DigiD?' and 'Heeft u geen DigiD?'. The 'Heeft u een DigiD?' column lists three steps: 1. Log in met uw DigiD, 2. Maak of wijzig uw keuze, 3. Bevestig uw keuze. It also lists 'De voordelen': 'Registreren duurt maar 2 minuten!' and 'Uw keuze wordt direct vastgelegd in het Donorregister.' The 'Heeft u geen DigiD?' column lists three steps: 1. Maak uw keuze, 2. U ontvangt uw ingevulde formulier binnen 3 weken per post, 3. Onderteken het formulier en stuur het (zonder postzegel) op naar het Donorregister.

opdrachten

- 31** De Nederlandse immunoloog Jon van Rood (1926–2017) liet stukjes huid van collega's op zijn eigen arm transplanteren. Dit maakte deel uit van zijn onderzoek naar het menselijk immuunsysteem. Van Rood ontdekte de humaan-leukocytenantigenen (HLA). Volgens velen had hij hiervoor de Nobelprijs moeten krijgen.
- Leg uit waarom de ontdekking van Van Rood van zeer groot belang is geweest voor de geneeskunde.
 - In 2017 heeft een Fransman het leven van zijn eeneiige tweelingbroer (met 95% verbrande huid) gered door de helft van zijn huid te doneren. Leg uit waarom orgaantransplantaties tussen eeneiige tweelingen heel vaak succesvol zijn.
 - Bij ernstige brandwonden wordt soms een stuk huid van de patiënt getransplanteerd van een onbeschadigd lichaamsdeel naar het verbrande deel. Zal deze transplantatie afstotingsverschijnselen veroorzaken? Leg je antwoord uit.
 - Bij beenmergtransplantaties gaat de voorkeur uit naar een donor die broer of zus is van de acceptor. Leg dat uit.
 - Ook bij het gebruik van embryonale stamcellen is er kans op afstotingsreacties. Welke genetische modificatie zou de kans op afstotingsreacties kunnen verkleinen? Betrek in je antwoord de term HLA-systeem.
- 32** Bij de behandeling van leukemie kan een arts kiezen voor een stamceltransplantatie. Om afstoting te voorkomen is HLA-matching van belang. Drie groepen HLA-genen zijn HLA-A, HLA-B en HLA-DR. De allelen van elk HLA-gen worden met een nummer aangegeven. Van HLA-A zijn 59 verschillende allelen bekend, van HLA-B 118 en van HLA-DR 124. Een meisje met leukemie heeft de volgende combinatie van haplotypen: HLA-A 13, 38 / HLA-B 24, 82 / HLA-DR 69, 89.
- Hoe groot is de kans dat haar zus dezelfde combinatie van haplotypen heeft en dus een geschikte donor is? Leg je antwoord uit.
 - In de grafiek van afbeelding 37 zie je het effect van matching voor HLA-DR-antigenen op de overlevingskansen van een niertransplantaat. Bereken het (relatieve) verschil in overlevingskansen van het transplantaat na zeven jaar.

► **Afb. 37** Overlevingskans van transplantaat in relatie tot mismatches voor HLA-DR-antigenen.

Legenda:
0 = geen mismatches voor HLA-DR-antigenen
1 = wel mismatches voor HLA-DR-antigenen



- 33 De nieuwe donorwet leidde tot veel discussie. De Wet op de orgaandonatie ligt in de politiek erg gevoelig. Als de politieke verhoudingen veranderen, kan ook een politiek gevoelige wet als de Wet op de orgaandonatie worden aangepast.
- a Zoek op het internet de laatste stand van zaken met betrekking tot de Wet op de orgaandonatie. Noteer de belangrijkste regels en de rechten en plichten bij orgaandonaties.
- b Sommige mensen zijn van mening dat de staat eigendom wordt van je lichaam bij een systeem van ‘geen bezwaar’. Je bent dan immers donor vanaf het moment dat je wordt geboren, tenzij je ouders of vanaf je 16e jijzelf, expliciet aangeven dat niet te willen. Dit zou in strijd zijn met een elementair mensenrecht, namelijk dat jij zelf beschikt over je eigen lichaam en niet een overheid.
Leg uit of je het met deze stelling wel of niet eens bent.
- c Sommige mensen willen geen donor zijn, omdat ze bang zijn dat ze mogelijk eerder dood worden verklaard om hun organen.
Leg uit dat deze angst waarschijnlijk ongegrond is. Gebruik hiervoor ook het internet.
- d Wil jij jouw organen doneren en/of jouw lichaam ter beschikking stellen aan de wetenschap na je overlijden? Leg je antwoord uit.

- 34 In afbeelding 38 staat informatie over een onderzoek naar mogelijke afstoting van de foetus door het lichaam van de moeder.

- a Waarom zou je verwachten dat een moeder haar foetus afstoot?

▼ **Afb. 38**

ONDERZOEK		LICHAAMSVREEMDE FOETUS LEIDT NIET TOT AFSTOTING
Inleiding	Het afweersysteem van de moeder stoot haar foetus niet af. Wetenschappers zochten een verklaring voor dit verschijnsel en zagen een verband tussen het enzym indolamine-2,3-dioxygenase (IDO) en de onderdrukking van het afweersysteem van de moeder. IDO zet tryptofaan, een van de twintig aminozuren, om in N-formylkynurenine. Bij muizen is dit enzym vooral aanwezig in de baarmoeder en zeer actief tijdens de zwangerschap.	
Onderzoeksvraag		
Hypothese		
Experiment	Een groep zwangere muizen kreeg een medicijn dat de werking van het enzym IDO blokkeert, terwijl een andere groep zwangere muizen een placebo kreeg.	
Resultaat	Bij de muizen die het medicijn kregen toegediend dat de werking van het enzym IDO blokkeert, werden de foetussen vernietigd in de baarmoeder.	
Conclusie	Het enzym indolamine-2,3-dioxygenase remt het afweersysteem van de moeder, waardoor foetussen niet worden afgestoten.	

Bron: NewScientist.nl, Zwangerschap en afstoting, Peter Raeymaekers, 10 januari 2001.

- b Formuleer een onderzoeksvraag voor dit onderzoek.
- c Formuleer een hypothese voor dit onderzoek.
- d Welke cellen van het afweersysteem worden vooral door IDO onderdrukt? Leg je antwoord uit.
- e De onderzoeker vroeg zich tijdens het onderzoek ook af of de foetus wellicht niet wordt afgestoten omdat hij ‘immunogeen onvolwassen’ is. Leg uit wat hij daarmee bedoelt.
- f De kennis van deze studie is nuttig bij transplantaties. Zo zou je bij transplantaties in de buurt van een transplantaat het gen dat codeert voor IDO kunnen activeren. Wat is hiervan het voordeel?

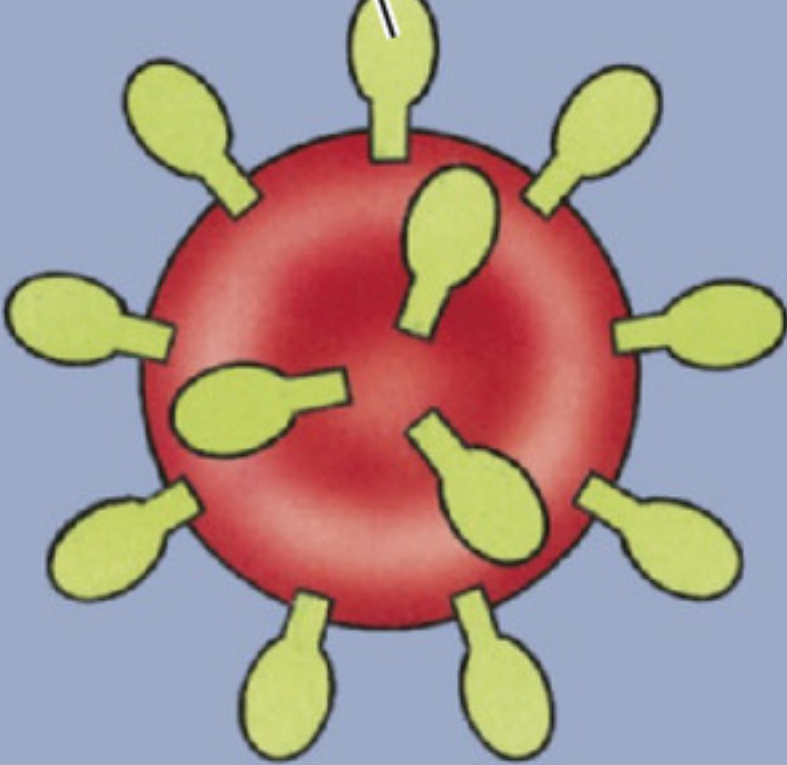
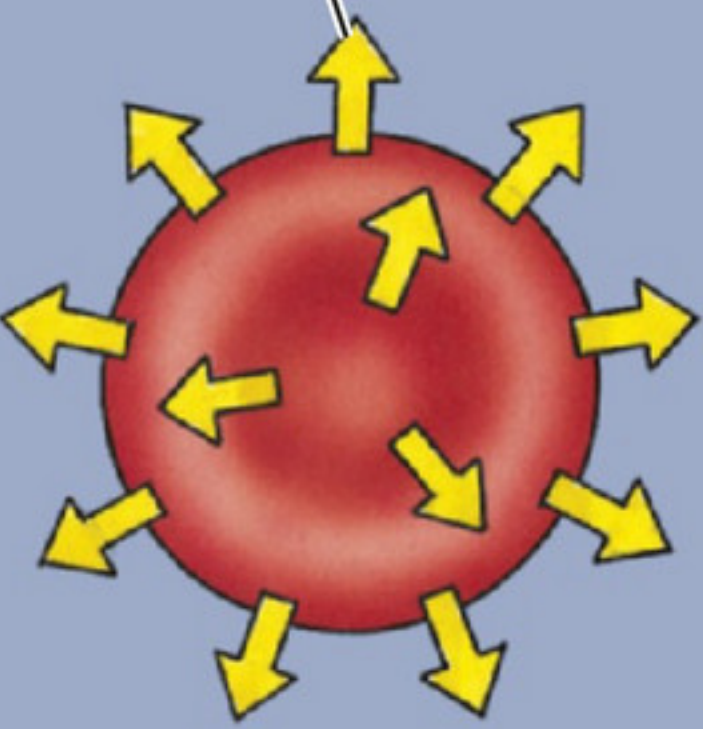
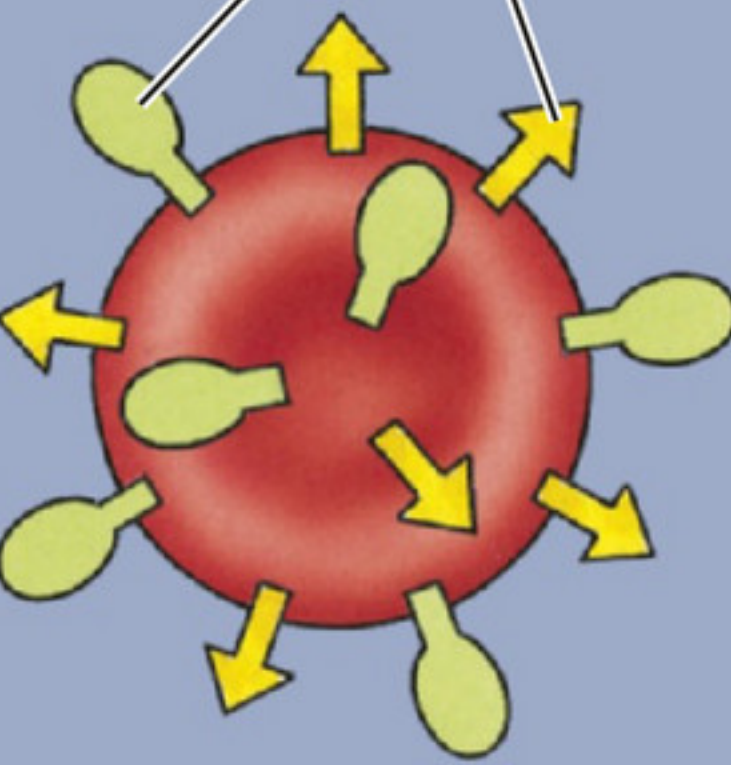
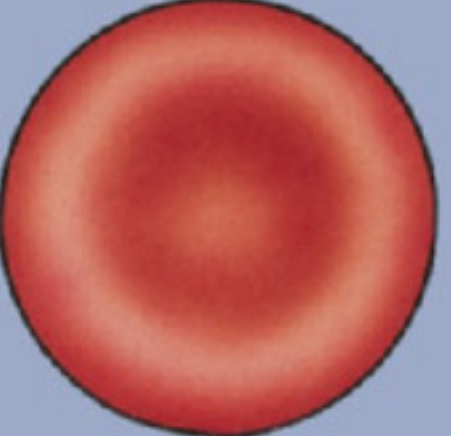
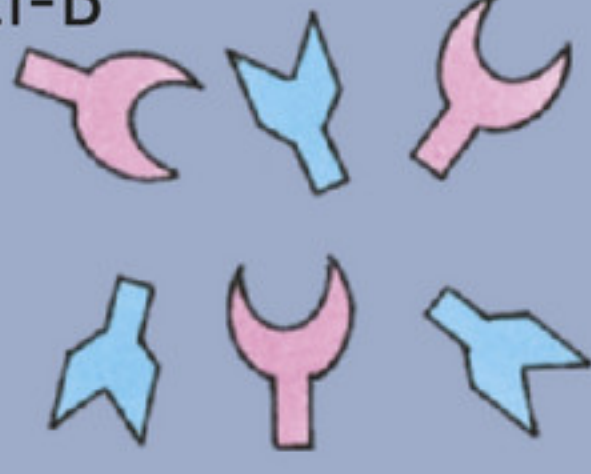
BLOEDGROEPEN

Op de celmembranen van rode bloedcellen komen geen HLA-eiwitten voor, maar wel antigenen die kunnen leiden tot afweerreacties. Op grond van deze antigenen zijn er meer dan dertig systemen ontwikkeld om bloedgroepen in te delen. De belangrijkste systemen zijn het ABO-systeem en de resusfactor.

Het **ABO-systeem** bestaat uit de bloedgroepen A, B, AB en 0 (nul). Hierbij zijn twee antigenen betrokken (zie afbeelding 39). Mensen met bloedgroep A hebben op de celmembranen van rode bloedcellen het antigeen A, mensen met bloedgroep B hebben het antigeen B. Mensen met AB hebben beide antigenen. Iemand met geen van beide antigenen behoort tot bloedgroep 0.

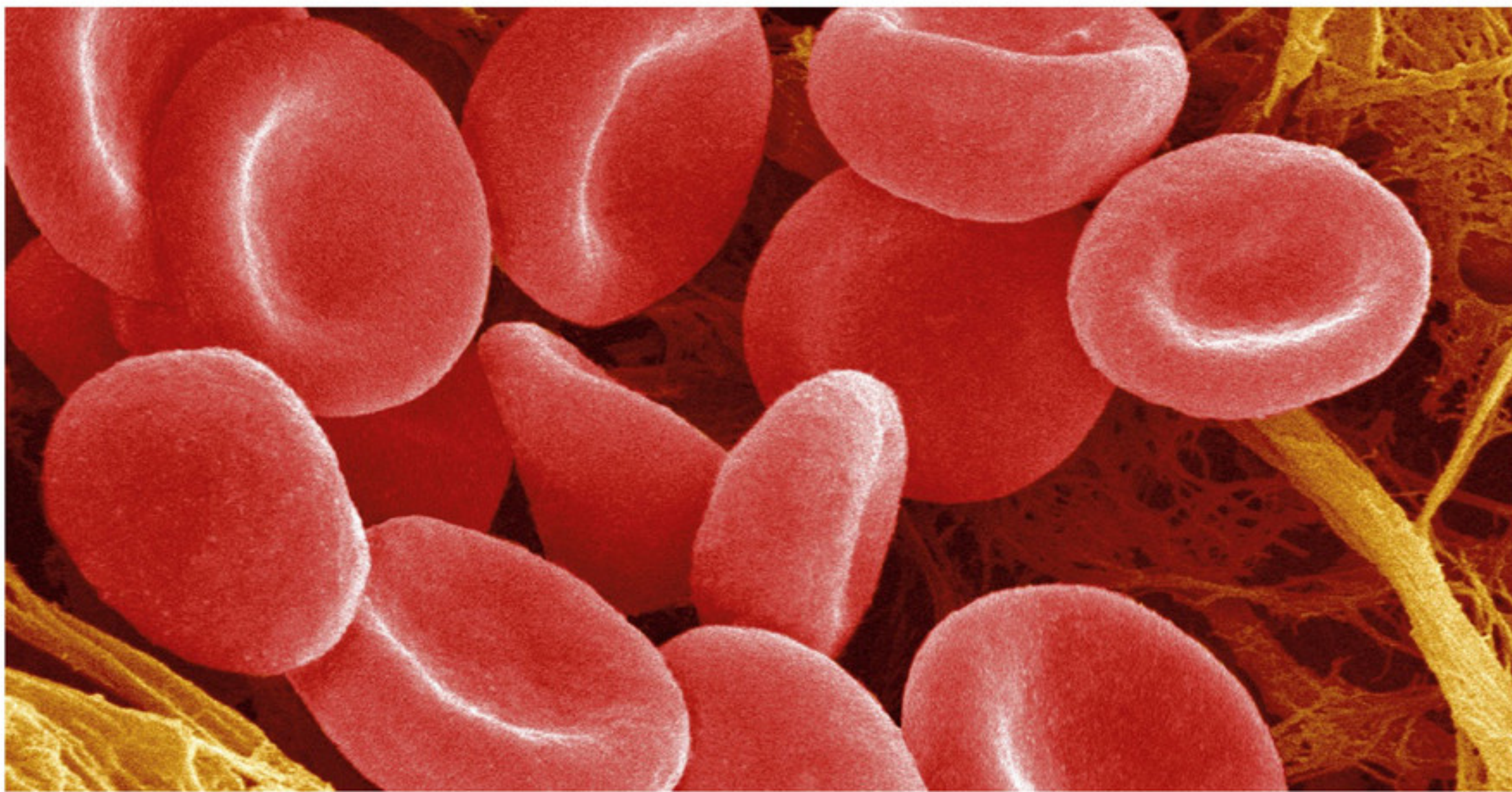
Bij ieder mens bevat het bloedplasma de antistoffen tegen de antigenen die niet op de celmembranen van hun rode bloedcellen voorkomen. Bij iemand met bloedgroep A zit dus antistof tegen B in het bloedplasma en iemand met bloedgroep B heeft antistof tegen A. Mensen met bloedgroep 0 hebben antistof tegen zowel A als B. Deze antistoffen worden vlak na de geboorte gevormd.

▼ **Afb. 39** Antigenen en antistoffen bij de bloedgroepen van het ABO-systeem.

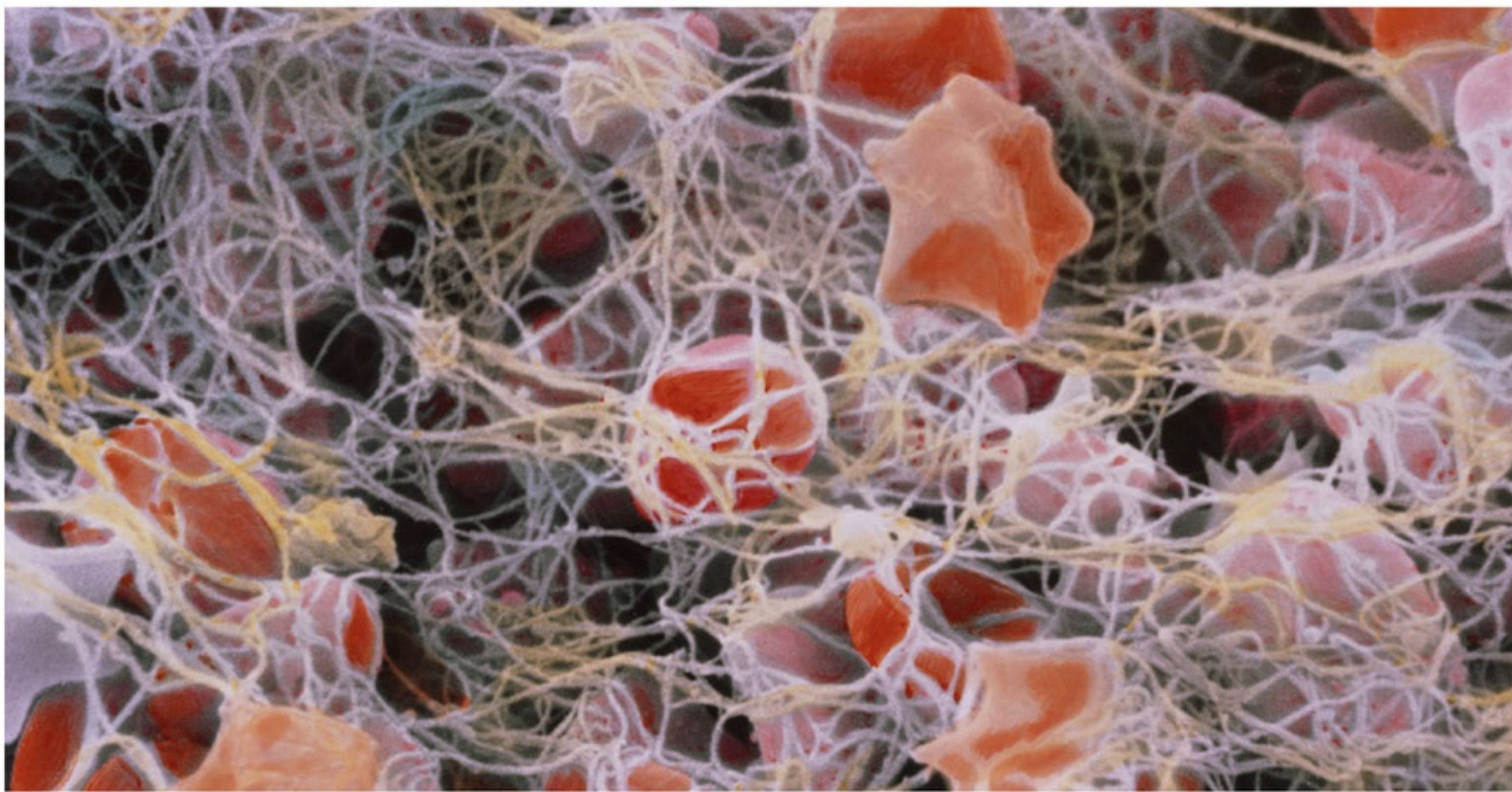
	bloedgroep A	bloedgroep B	bloedgroep AB	bloedgroep 0
antigenen aan rode bloedcellen	antigeen A 	antigeen B 	antigeen A en B 	geen antigeen A geen antigeen B 
antistoffen in bloedplasma	anti-B 	anti-A 	geen anti-A geen anti-B	anti-A anti-B 
% in Nederland	43%	9%	3%	45%

Rode bloedcellen klonteren samen als het antigeen in contact komt met de antistof (zie afbeelding 40.2). De samengeklonterde bloedcellen blijven steken in de haarvaten en gaan te gronde. Hierdoor komt hemoglobine vrij in het bloedplasma. Dit proces wordt **hemolyse** genoemd. Het kan onder andere hersen- en nierbeschadigingen tot gevolg hebben en zelfs leiden tot de dood. Een patiënt moet dus bij voorkeur donorbloed van dezelfde bloedgroep ontvangen. Tegenwoordig worden bij een **bloedtransfusie** alleen nog maar rode bloedcellen

▼ Afb. 40 Rode bloedcellen.



1 normaal bloed



2 samengeklonterd bloed

toegediend. Door donorbloed te centrifugeren wordt bloedplasma gescheiden van de rode bloedcellen. De antistoffen die in het plasma aanwezig zijn, worden dan niet toegediend. Hierdoor ontstaan meer mogelijkheden voor bloedtransfusies met bloed van een andere bloedgroep.

opdrachten

- 35
- In afbeelding 41 geven de egaal ingevulde cirkels aan dat een bloedtransfusie goed verloopt.
- a

Geef voor elke bloedgroep aan van welke bloedgroep(en) je bloed kunt toedienen aan een patiënt met deze bloedgroep.
- b

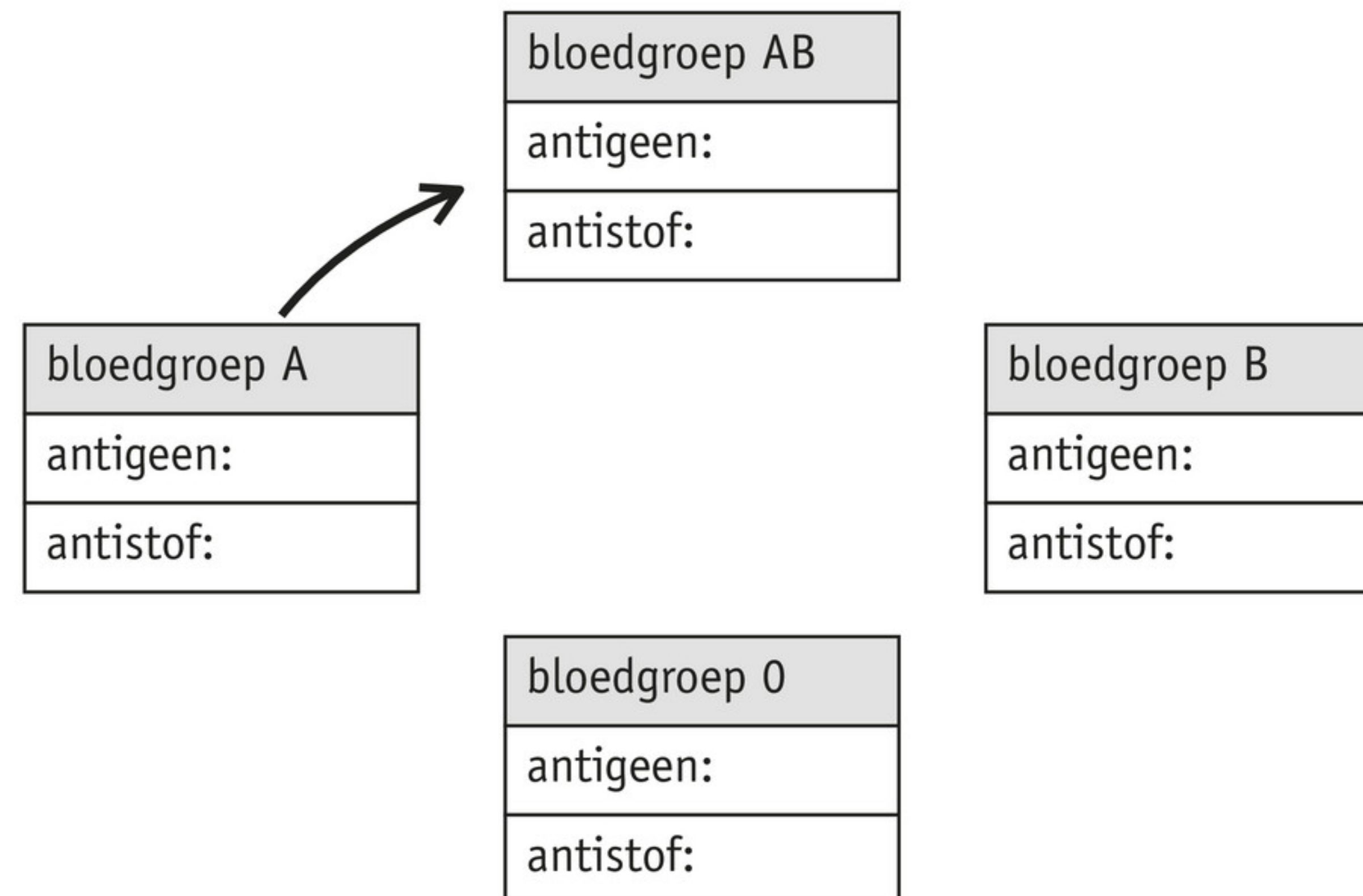
Welke bloedgroep wordt de algemene donor genoemd, en welke bloedgroep de algemene acceptor? Leg je antwoord uit.

► Afb. 41 Transfusieschema.

		bloedgroep van het donorbloed			
		A	B	AB	0
bloedgroep van de patiënt (ontvanger)	A				
	B				
	AB				
	0				

- 36 In afbeelding 42 staat een schema met bloedgroepen.
- Vul bij elke bloedgroep in welke antigenen er aan de rode bloedcellen zitten en welke antistoffen er in het bloedplasma voorkomen.
 - Geef met pijlen aan welke bloedtransfusies mogelijk zijn. Dit is voorgedaan voor de transfusie van donorbloed van bloedgroep A naar een ontvanger van bloedgroep AB.

► Afb. 42 Bloedtransfusies.



RESUSFACTOR

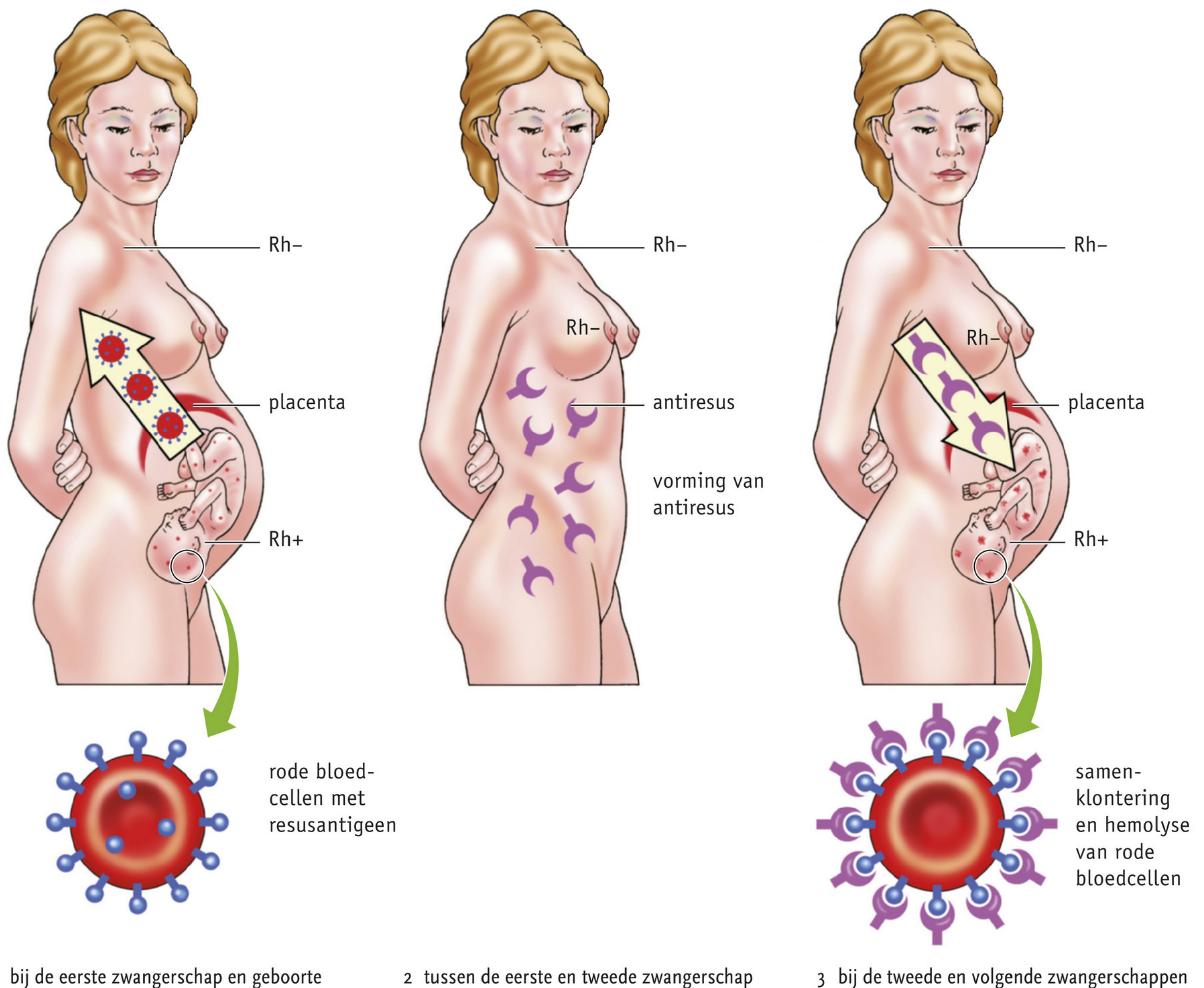
Bij 85% van de mensen komt op de celmembranen van de rode bloedcellen een eiwit voor dat ook op de celmembranen van het resusaapje voorkomt. Dit eiwit wordt daarom **resusantigeen** of **resusfactor** genoemd. Bloed met het resusantigeen wordt resuspositief bloed genoemd (Rh+). Mensen die het resusantigeen niet hebben, zijn resusnegatief (Rh-). Deze mensen kunnen antistof (**antiresus**) maken tegen het resusantigeen. Zij maken deze antistof pas als ze in contact komen met resuspositief bloed. Als een patiënt met resusnegatief bloed (bijvoorbeeld A Rh-) resuspositief bloed (bijvoorbeeld A Rh+) ontvangt, zal deze persoon antiresus maken (primaire reactie). Hierdoor klonteren de rode bloedcellen van het donorbloed samen en treedt hemolyse op.

Het resusantigeen kan problemen geven bij zwangerschap. Dit is het geval als een resusnegatieve vrouw zwanger is van een resuspositief kind (zie afbeelding 43). Door scheurtjes in de placenta kunnen rode bloedcellen van het kind in de bloedsomloop van de moeder terechtkomen. Vooral tijdens de bevalling kunnen lekken in de placenta ontstaan. De moeder maakt dan antiresus. Voor het eerste kind heeft dat geen gevolgen. Na de eerste bevalling bevat het bloed van de moeder echter antiresus. Als bij een volgende zwangerschap het kind weer resuspositief is, kan er antiresus uit het bloed van de moeder door de placenta in het bloed van het kind terechtkomen. Er kunnen dan rode bloedcellen van het kind samenklonteren en er kan hemolyse optreden. Een kind bij wie deze verschijnselen optreden, wordt een **resuskindje** genoemd.

Bij een resusnegatieve moeder wordt, direct na de geboorte van een resuskind, antiresus ingespoten. Als er dan rode bloedcellen met resusantigeen van het kind in het bloed van de moeder terecht zijn gekomen, klonten deze door het ingespoten antiresus meteen samen en worden ze afgebroken. Het afweersysteem van de moeder zal de resusantigenen van het kind niet detecteren, waardoor het zelf geen antiresus en geheugencellen maakt. Het ingespoten antiresus wordt na verloop van tijd afgebroken.

Als een resuspositieve moeder zwanger is van een resusnegatief kind, zijn er geen problemen. Het kind kan tijdens de eerste maanden nog geen antistoffen maken.

▼ **Afb. 43** Het ontstaan van een resuskindje (schematisch).



opdrachten

- 37 Het resusantigeen kan problemen geven bij zwangerschap.
- Wanneer gaat een resusnegatieve vrouw die zwanger is van een resuspositief kind antiresus maken?
 - Als een resusnegatieve vrouw zwanger is van een resuspositief kind, levert dat de eerste keer geen problemen op. Leg uit waardoor niet.
 - Een resusnegatieve moeder krijgt na de geboorte van een resuspositief kind antiresus ingespoten. Met welke vorm van immunisatie is dit te vergelijken?
 - Waardoor maakt deze moeder na immunisatie zelf geen antiresus?
 - Wanneer een moeder met bloedgroep A zwanger is van een kind met bloedgroep B en moeder en kind dezelfde resusfactor hebben, zijn er geen problemen te verwachten. Kunnen de antistoffen van het ABO-systeem door de placenta heen? Leg je antwoord uit.

- 38 Een 12-jarige jongen heeft nog nooit een bloedtransfusie gehad. Deze jongen heeft bloedgroep A Rh⁻.
- Bevat het bloed van deze jongen antiresus? Leg je antwoord uit.
 - Kan bij een bloedtransfusie bloed van deze jongen worden gegeven aan een patiënt met bloedgroep A Rh⁺? Leg je antwoord uit.

CONTEXT

Wetenschap

▼ Afb. 44 Donorbloed.



Kweekbloed

Naast het AB0- en het resussysteem bestaan er nog ruim dertig andere bloedgroepsystemen die belangrijk kunnen zijn bij bloedtransfusies. Indira, het uit India geadopteerde dochttertje van Christa en Bert, heeft bijvoorbeeld een van de allereerste bloedgroepen: h/h, ook wel oh of Bombay genoemd. Deze bloedgroep komt naar schatting voor bij vier op de miljoen mensen. In het bloed van Indira ontbreken niet alleen de antigenen A en B, maar ook de zogenoemde H-substantie waarmee deze antigenen verbonden zijn en die normaal wel aanwezig is bij iemand met bloedgroep 0. Ze kan alleen bloed ontvangen van andere personen met bloedgroep Bombay. Kweekbloed zou voor Indira een oplossing kunnen zijn.

In 2010 lukte het Franse wetenschappers om uit beenmerg van bloeddonoren rode bloedcellen te kweken. Met die techniek had je echter maar liefst 13 L bloedstamcellen in kweek nodig voor 3 mL gekweekt transfusiebloed. Ook bleken de donorbloedstamcellen buiten het lichaam slechts een korte levensduur te hebben.

In 2017 behandelden biochemici van Bristol University embryonale stamcellen in een vroege ontwikkelingsfase, waardoor deze zich onbelemmerd konden vermenigvuldigen. Op deze manier kweekten de onderzoekers grote hoeveelheden rode bloedcellen uit deze stamcellen. De embryonale stamcellen blijken ideaal, doordat ze langer in kweek kunnen worden gehouden en op elk gewenst moment kunnen uitgroeien tot bloedstamcellen.

opdracht

- 39 De toepassing van embryo's voor bloedproductie is in Nederland verboden onder de Embryowet. Sommige onderzoekers vinden versoepeling van de Embryowet ethisch acceptabel als ze daardoor stamcellen uit embryo's kunnen gebruiken voor de productie van rode bloedcellen.
- Wat wordt in dit verband bedoeld met 'ethisch acceptabel'?
 - Geef een ethisch argument dat pleit voor verder onderzoek naar de kweektechniek met embryonale stamcellen.
 - Geef een ethisch argument dat pleit tegen verder onderzoek naar deze techniek.
 - Geef met het oog op gezondheidsrisico's een biologisch argument tegen de toepassing van embryonale stamcellen en de 'Bristol-methode'. Zoek op het internet naar argumenten.
 - Stel je voor dat je een ouder, broer of zus hebt met een zeldzame bloedgroep. Zou jij het gebruik van embryonale cellen acceptabel vinden? Bespreek jouw mening met ten minste twee medeleerlingen.

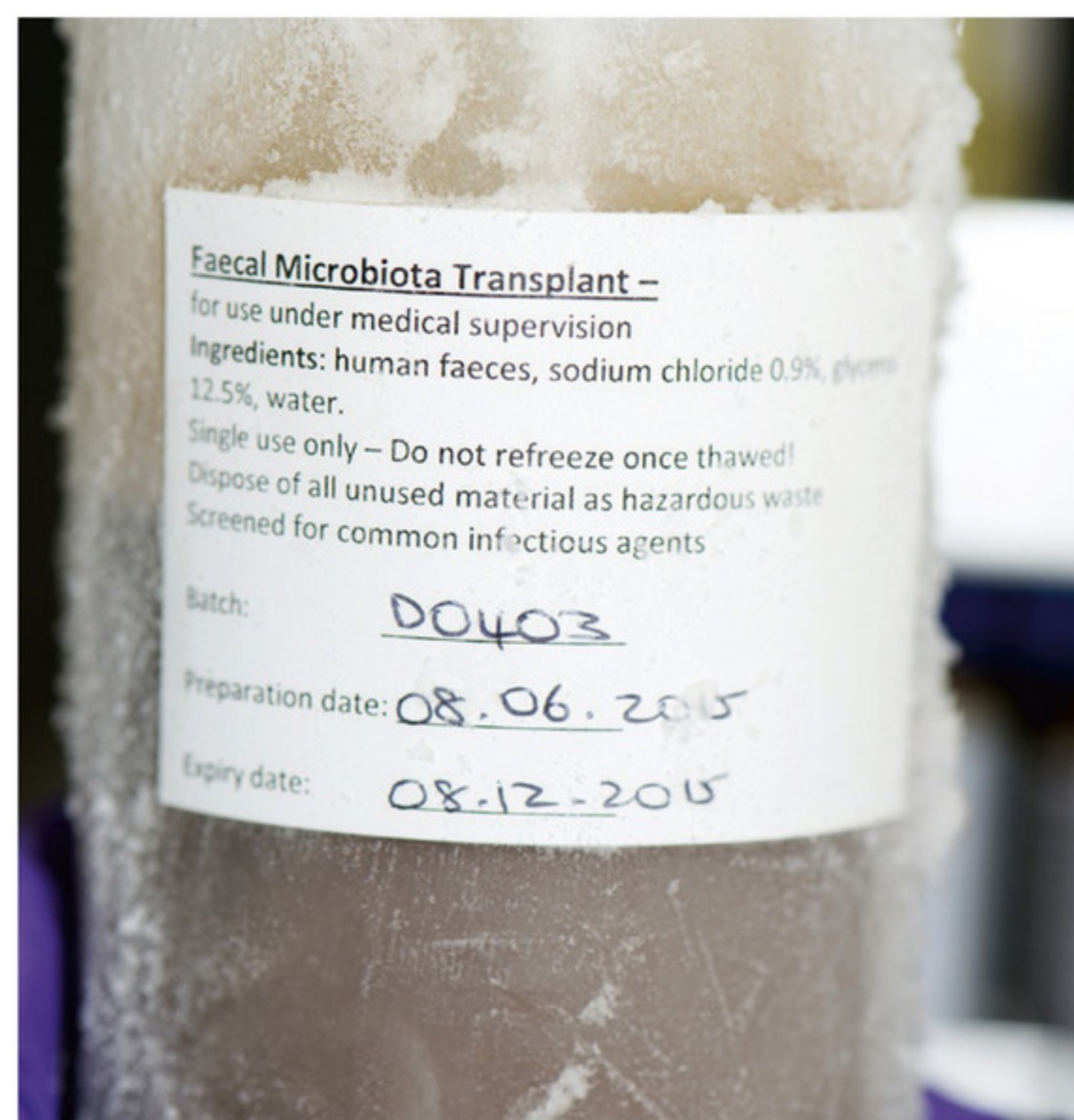
Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Controleer met het uitwerkingenboek of je de basisstofopdrachten goed hebt uitgevoerd.
- Je kunt nu verdergaan met de digitale oefentoets. Je kunt de samenvatting en flitskaarten gebruiken om je hierop voor te bereiden.
- Na de digitale oefentoets kun je de paragraaf Samenhang, de examentrainer en de verrijkingsstof doen.

Leerdoelen

- Je kunt de rol van de darmen bij de ontwikkeling van het afweersysteem toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair, ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op de rol van de darmen bij de ontwikkeling van het afweersysteem.

- ▼ **Afb. 1** Bevroren microbiota uit mensenpoep voor transplantatie.



Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

Poep, het meest veelzijdige medicijn

Een hapje poep. Wie is er niet groot mee geworden? En of dit al niet onsmakelijk genoeg is, ziet het er ook nog eens naar uit dat poep een veelgebruikt medicijn gaat worden.

Je darmbacteriën spelen een belangrijke rol bij de ontwikkeling van je afweersysteem. Vlak voor je geboorte waren je darmen nog leeg, maar tijdens de bevalling is die steriele darm besmet met poepbacteriën en vaginale bacteriën van je moeder die via je mond zijn binnengekomen. Doordat de meeste darmbacteriën in een zuurstofloze (anaerobe) omgeving groeien en jouw babydarm gevuld was met zuurstof, gingen veel van die bacteriën dood. De bacteriële celwanden werden opgenomen door je darmwand en gebruikt om jouw afweersysteem onderscheid te leren maken tussen wat lichaamseigen of juist lichaamsvreemd was. De bacteriële antigenen zorgden er zodoende voor dat jouw prille afweersysteem deze goede darmbacteriën leerde kennen en ze niet meer aanviel. Deze aangeleerde tolerantie is onderdeel van het aangeboren afweersysteem.

MICROBIOTA

In je darmen is het voortdurend oorlog en vrede. In darmen komen achthonderd tot duizend verschillende bacteriën en evenzoveel virussen voor. Deze ecologische gemeenschap, de microbiota, helpt bij het bestrijden van ziekmakende bacteriën die vanuit de darm je lichaam proberen binnen te dringen. De samenstelling van de microbiota heeft een grote invloed op je gezondheid. Bij darminfecties en chronische darmontstekingen, zoals de ziekte van Crohn of colitis ulcerosa, is de gezonde darmflora niet in staat om de ziekmakende bacteriën te verdringen. Een poeptransplantatie kan dan dé oplossing zijn. Bij deze behandeling wordt de oorspronkelijke darmflora vervangen door die van een gezonde donor.

POEPTRANSPLANTATIE

De eerste poeptransplantatie vond plaats in 1958. Toen werd een darminfectie, veroorzaakt door de bacterie *Clostridium difficile*, succesvol behandeld. Deze gevaarlijke bacterie kan een hardnekkige infectie veroorzaken die gepaard gaat met ernstige diarree. Alleen al in de Verenigde Staten veroorzaakt deze bacterie jaarlijks zo'n veertienduizend sterfgevallen. Behandeling met antibiotica is in nog maar 25% van de gevallen effectief. Poeptransplantaties blijken een stuk effectiever: in 90% van de gevallen verdrijft een gezonde darmflora de *Clostridium difficile*-infectie.

Poeptransplantaties lijken de toekomst te hebben. Voor veel succesvolle transplantaties is nog wel standaardisatie van de procedures nodig. Ook die ontwikkeling is nu in volle gang: aan de Universiteit van Guelph in Canada zijn onderzoekers erin geslaagd de belangrijkste bacteriën uit poep van een gezonde donor te isoleren en te vermeerderen. Als je die mix van geïsoleerde bacteriën toevoegt aan een vloeistof, krijg je een soort probioticadrinkje dat je kunt drinken als medicijn. Een gezond poepdrinkje dus.

opdrachten

- 1 Neem de tabel over en noteer begrippen uit de tekst bij het juiste organisatieniveau.

- 2 Als een natuurlijke bevalling voor de moeder of de baby levensbedreigend is, komen baby's ter wereld via een keizersnede. Bij een keizersnede wordt een operatieve snede in de buikwand van de moeder gemaakt.
Leg uit dat een keizersnede minder gunstig kan zijn voor de opbouw van het afweersysteem van een baby dan een natuurlijke bevalling.
- 3 Vooral ouderen raken na een antibioticumbehandeling in het ziekenhuis of zelfs in de behandelkamer van de dokter besmet met *Clostridium difficile*.
Geef daarvoor een verklaring.
- 4 De behandeling van *Clostridium difficile* met antibiotica is in slechts 25% van de gevallen effectief, doordat de bacteriën resistent zijn geworden tegen antibiotica.
Leg uit hoe een bacteriepopulatie resistent kan worden tegen antibiotica.
- 5 Leg uit dat poeptransplantatie ook nadelen kan hebben voor de gezondheid van een patiënt.
- 6
 - a Een antibioticumkuur kan ervoor zorgen dat het uiteindelijk slechter gaat met de patiënt en dat diarreeklachten ontstaan. Leg dat uit.
 - b Als patiënten naast de antibioticumkuur ook probiotica kregen toegediend, werden diarreeklachten verlicht of tegengegaan. Een probioticum is een voedingsmiddel waaraan 'goede' micro-organismen zijn toegevoegd die de gezondheid bevorderen.
Wat zou een voordeel van probiotica boven poeptransplantatie kunnen zijn?
 - c Bacteriën worden in hoog tempo resistent tegen antibiotica. Er zijn nu al bacteriën die op geen enkel antibioticum meer reageren.
Leg uit waarom een bacteriofaag een goed alternatief voor antibiotica zou kunnen zijn.
 - d Leg uit waardoor een bacterie waarschijnlijk niet resistent zou kunnen worden tegen een bacteriofaag.
- 7 De meeste darmbacteriën zitten in de dikke darm en zijn betrokken bij de spijsvertering. Ze bezitten enzymen die onverteerbare vezels kunnen afbreken. Een deel van deze verteringsproducten wordt door de darm opgenomen.
 - a Welke vorm van symbiose bestaat er tussen de mens en de darmbacterie die betrokken is bij de spijsvertering? Leg je antwoord uit.
 - b Er zijn aanwijzingen dat sommige bacteriesoorten efficiënter voedingsmiddelen afbreken dan andere.
Heeft een persoon met efficiënte bacteriën een grotere kans om dikker te worden of juist slanker? Leg je antwoord uit.
- 8 Zwangerschapstesten zijn gebaseerd op een immunochemische reactie tussen een antistof en een antigeen.
Beschrijf aan de hand van een eenvoudige doe-het-zelftest, die gebaseerd is op een zwangerschapstest, hoe een darmbacterie zoals *Clostridium difficile* of *Clostridium botulinum* zichtbaar kan worden gemaakt.

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- modelleerprogramma Coach 6 (of hoger) op computer
- model van een epidemie (epidemie.cmr, te vinden op de methodesite)

▼ Afb. 1 Model epidemie.cmr.

Practica

Modelleren van een epidemie met Coach

►► BASISSTOF 3

Zowel bij de mens als bij veel dier- en plantensoorten kan soms een epidemie optreden. Afhankelijk van de besmettelijkheid en de virulentie (ziekmakende kracht) van een bacterie of virus en de mate van immuniteit van mens, dier of plant zal zo’n epidemie veel of weinig slachtoffers maken en dan uitdoven. In deze practicumopdracht onderzoek je de ontwikkeling van een epidemie met behulp van een computermodel.

ONDERZOEKSVRAGEN

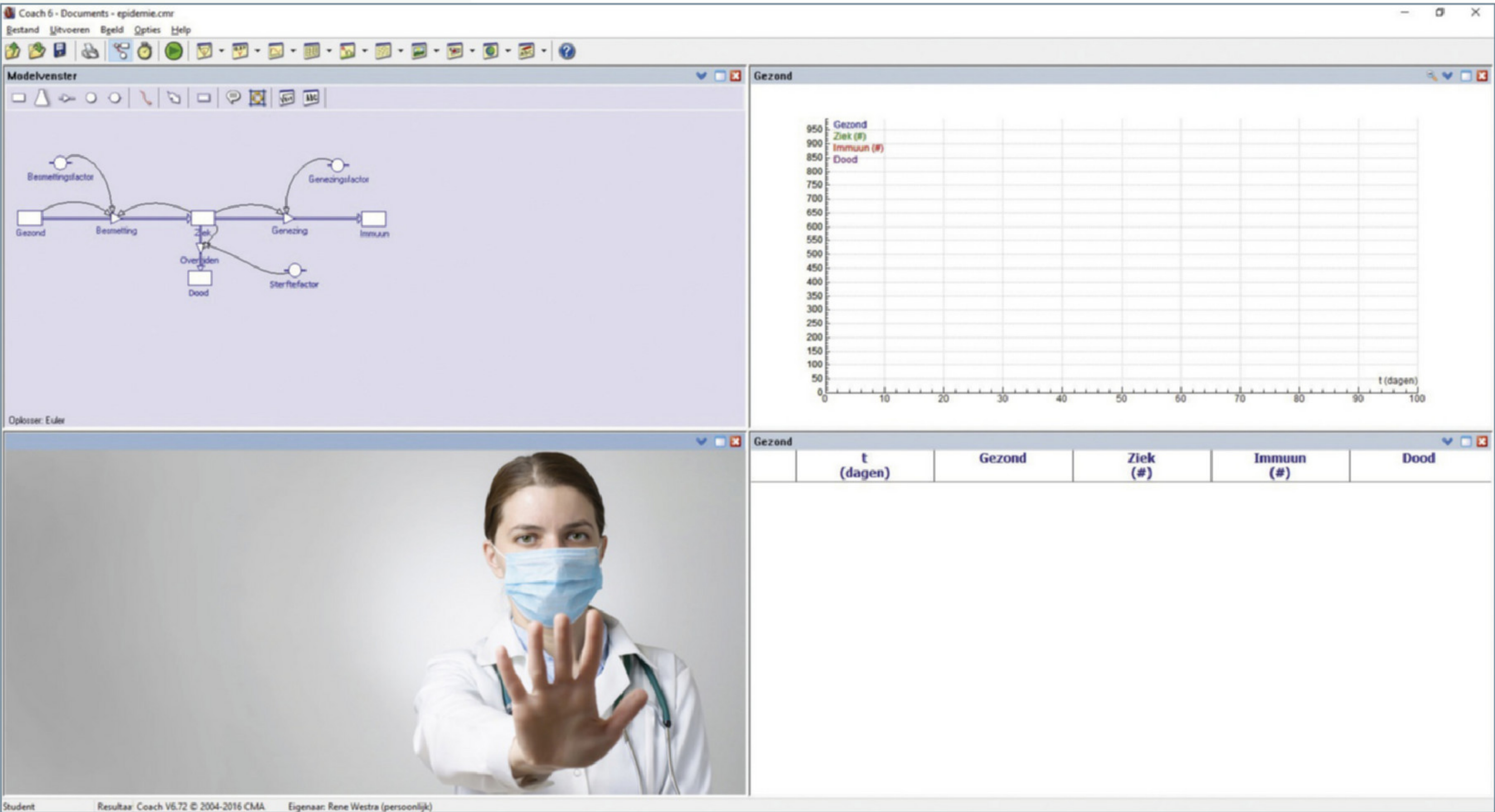
- Hoe ontwikkelt zich een populatie onder invloed van een epidemie van een erg besmettelijke bacterie of virus met een hoge virulentie, waarbij weinig immuniteit optreedt?
- Hoe verandert de situatie onder invloed van lagere besmettelijkheid, lagere virulentie of meer immuniteit?

HYPOTHESE

Als een bacterie of virus heel besmettelijk en heel virulent is en er weinig immuniteit is bij de organismen in de populatie, zal een epidemie heel veel slachtoffers maken en dan uitdoven.

METHODE EN RESULTAAT

- Ga naar het modelleergedeelte van het computerprogramma Coach en open het model epidemie.cmr.
- Onderzoek het model. Je ziet vier groepen: gezond, ziek, immuun en dood.



Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Dubbelklik op de vier groepen. Welke aantallen zie je aan het begin?
- 2 Bepaal de waarden van de besmettingsfactor (besmettelijkheid van een bacterie of virus), de sterftfactor (virulentie van bacterie of virus) en de genezingsfactor (kans om immuun te worden) door te dubbelklikken op deze drie variabelen. Verklaar wat de gevonden waarden inhouden.
- 3 Voorspel wat er zal gebeuren.
 - Laat het model het verloop van de epidemie gedurende honderd dagen doorrekenen door op de groene knop 'start' te klikken. In de grafiek en de tabel rechts op je scherm zie je de resultaten.
- 4 Noteer de resultaten. Verklaar de resultaten van de computerberekeningen.
- 5 Een epidemische ziekte kan ook minder besmettelijk of minder of helemaal niet dodelijk zijn.
Wat betekent dat voor de besmettingsfactor, voor de sterftfactor en voor de genezingsfactor?
- Onderzoek wat er gebeurt als je in dit model:
 - a de besmettingsfactor verlaagt tot 0.0005;
 - b de sterftfactor verlaagt tot 0.01 of tot 0;
 - c de genezingsfactor verhoogt tot 0.5.
 Denk eraan na elke berekening de veranderde factor terug te zetten op de oorspronkelijke waarde.
- 6 Formuleer eerst een voorspelling over het verloop van de grafieken.
- 7 Test daarna wat er in het model gebeurt. Geef hiervan een korte beschrijving.
- 8 Leg uit waarom het belangrijk is na elke berekening de veranderde factor terug te zetten op de oorspronkelijke waarde.
- 9 Ebola of vogelpest maken heel veel slachtoffers.
Welke van de drie factoren is of zijn hiervoor verantwoordelijk?

CONCLUSIE

- 10 Beantwoord de onderzoeksvragen. Is de hypothese juist?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 11 Vind je dat zo'n model nuttig is, ook al is het een sterk vereenvoudigd beeld van de werkelijkheid?
- 12 Noem enkele zaken die in het model zijn weggelaten, maar die in de werkelijkheid wel een rol spelen.

Deze practicumopdracht kan worden uitgebreid. Vraag hiervoor de beschrijving aan je docent.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de werking en functie van de huid bij de afweer van de mens beschrijven.

- Infectie: het binnendringen van ziekteverwekkers (pathogenen) in je lichaam.
- Inwendig milieu: deel van het lichaam dat alleen kan worden bereikt door een of meerdere celmembranen te passeren.
- Uitwendig milieu: omgeving die zich buiten het lichaam bevindt.
- Lichaamsvreemd: stoffen of cellen die niet in je lichaam thuishoren.
- Lichaamseigen: stoffen of cellen die door je lichaam worden gemaakt.
- De huid beschermt het lichaam tegen schadelijke invloeden uit het uitwendige milieu.
 - Slijmvliezen: zorgen bij openingen in het lichaam ervoor dat ziekteverwekkers moeilijk kunnen binnendringen.
 - Melanocyten in de kiemlaag produceren pigment (melanine) dat bescherming geeft tegen ultraviolette straling.
- Mechanische afweer: fysieke aanpassingen om indringers buiten te houden.
 - Bijv. de huid en de slijmvliezen.
- Chemische afweer: het gebruik van stoffen om indringers buiten te houden.
 - Bijv. zoutzuur in maagsap doodt bacteriën.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de vormen van aangeboren afweer beschrijven.

- Aangeboren afweer:
 - gericht tegen vele verschillende ziekteverwekkers (o.a. tegen bacteriën en lichaamsvreemde stoffen);
 - wordt bij infectie snel geactiveerd;
 - komt voor bij alle dieren en planten.
- Fagocytose: insluiting en vertering van ziekteverwekkers door fagocyten (granulocyten en monocytten).
- Granulocyten: type fagocyt dat binnen enkele minuten reageert op binnendringende ziekteverwekkers door ze te fagocyteren.
 - Gaat na fagocytose meestal te gronde.
- Monocyten: type fagocyt dat zich kan ontwikkelen tot macrofaag of dendritische cel.
- Macrofaag:
 - bij het verlaten van de bloedbaan verandert de monocyt van vorm en wordt dan macrofaag genoemd;
 - kan meerdere ziekteverwekkers vernietigen doordat hij niet te gronde gaat na fagocytose.

- Dendritische cel:
 - celvorm is vergelijkbaar met dendrieten in het zenuwstelsel;
 - komt voornamelijk voor in de huid en de slijmvliezen.
- Koorts: verhoogde lichaamstemperatuur versnelt de afweerreacties van het lichaam.
 - Macrofagen kunnen koorts veroorzaken.
- Antibiotica versterken tijdelijk de afweer van het lichaam.
 - Antibiotica zijn alleen werkzaam tegen bacteriële infecties.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de vormen van verworven afweer beschrijven.

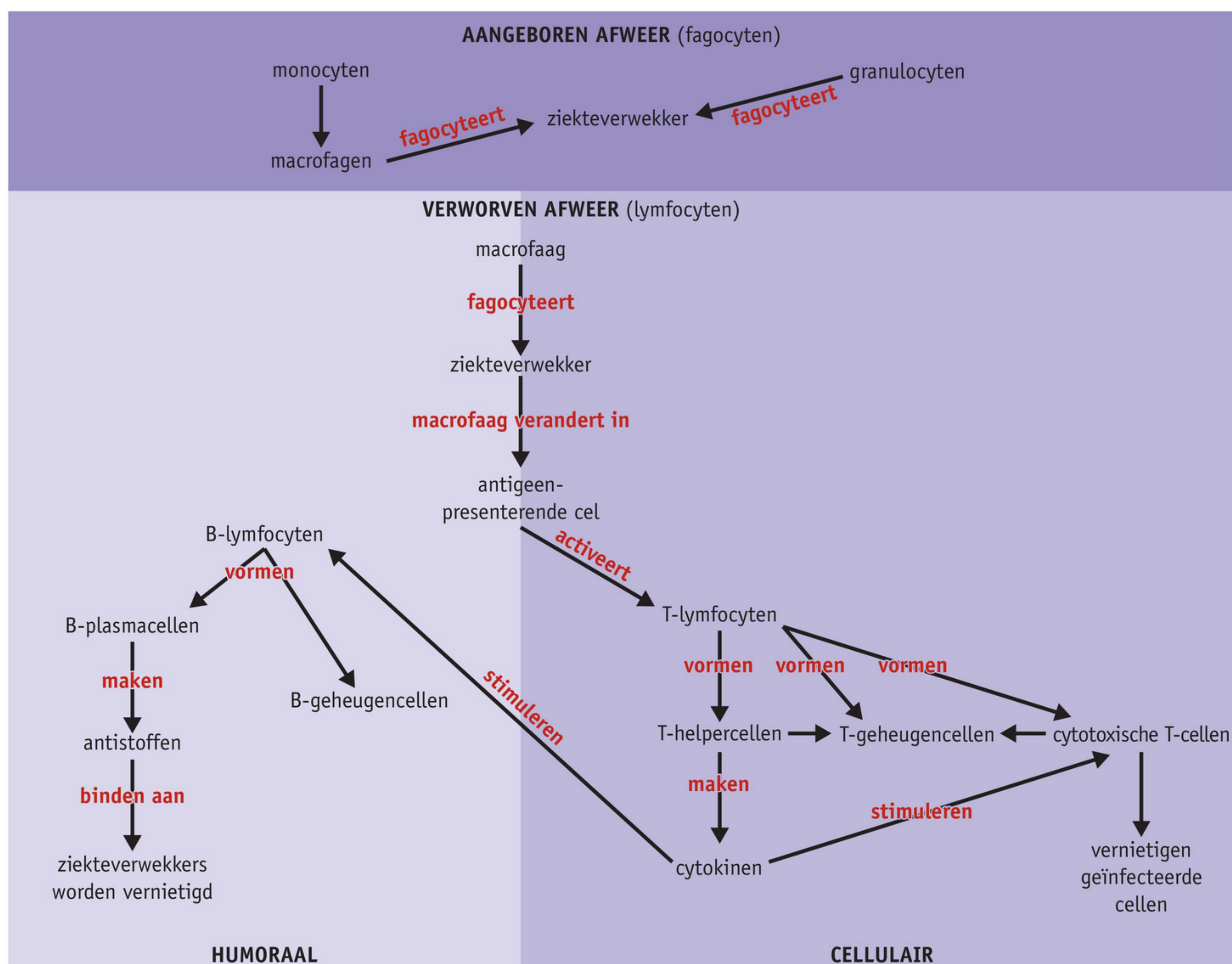
- Verworven afweer:
 - gericht tegen één type ziekteverwekker (o.a. tegen lichaamsvreemde cellen, lichaamsvreemde stoffen, bacteriën en virussen);
 - komt langzaam op gang;
 - alleen bij gewervelde dieren.
- Bij de verworven afweer zijn T- en B-lymfocyten betrokken.
 - Lymfocyten ontstaan uit stamcellen van het rode beenmerg.
 - In het beenmerg ontwikkelen zich B-lymfocyten.
 - In de thymus ontwikkelen zich T-lymfocyten.
 - Lymfocyten komen vooral terecht in de lymfeknopen en de milt.
- Lymfoïde organen: lymfeknopen, de milt, het beenmerg en de thymus.
- Mediatoren: eiwitten met een regulerende functie.
 - Bijv. cytokinen die de normwaarde voor de lichaamstemperatuur regelen.
- MHC: Major Histocompatibility Complex.
 - Deel van het genoom dat codeert voor eiwitten die een rol spelen bij de herkenning van lichaamseigen en lichaamsvreemde (delen van) cellen en stoffen.
- Specifieke afweerreacties worden opgewekt door antigenen:
 - grote moleculen, meestal eiwitten;
 - kunnen een reactie van het immuunsysteem opwekken;
 - zijn oplosbaar of bevinden zich op celmembranen;
 - worden herkend door receptoren nadat ze zijn gebonden aan een MHC-receptoreiwit.
- MHC-receptoreiwitten, twee typen:
 - MHC-I-receptoreiwitten: op de buitenkant van alle cellen met een celkern in het menselijk lichaam en op bloedplaatjes.
 - MHC-II-receptoreiwitten: op de buitenkant van macrofagen, dendritische cellen en geactiveerde B-cellen.
- Macrofagen kunnen zich ontwikkelen tot antigeenpresenterende cellen (APC).

- Na fagocytose bindt een antigeen aan MHC-II-receptoreiwit, waarna APC op zoek gaat naar de juiste T- en B-lymfocyt.
- Ook andere cellen (zoals dendritische cellen en B-lymfocyten) kunnen een antigeen-presenterende cel worden.
- Activatie van T-lymfocyten:
 - juiste T-lymfocyt reageert op de APC door te gaan delen;
 - er ontstaan drie typen dochtercellen: T-helpercellen (Th-cellen), cytotoxische T-cellen (Tc-cellen) en T-geheugencellen.
- Cellulaire respons: afweer door vernietiging van geïnfecteerde lichaamscellen door T-lymfocyten.
 - T-helpercellen geven cytokinen af die de ontwikkeling van cytotoxische T-cellen stimuleren.
 - Cytotoxische T-cellen vernietigen de geïnfecteerde lichaamscellen.
 - Ook kankercellen en cellen van getransplanteerde weefsels of organen worden aangevallen.
- Humorale respons: afweer door antistoffen die terechtkomen in alle lichaamsvochten.
 - T-helpercellen geven cytokinen af die de ontwikkeling van B-lymfocyten stimuleren.
 - Uit B-lymfocyt ontstaan twee typen dochtercellen: B-plasmacellen en B-geheugencellen.
 - B-plasmacellen vormen antistoffen tegen antigenen.

- Antistoffen (immunoglobulinen): eiwitten die binden aan de antigenen van de ziekteverwekker.
 - Tegen één antigeen kunnen verschillende antistoffen worden gevormd.
 - Een B-plasmacel kan maar één type antistof vormen.
- Antigeenmolecuul en antistofmolecuul vormen een antigeen-antistofcomplex.
 - Door de complexvorming wordt de ziekteverwekker onschadelijk gemaakt.
 - Bijv. door aantasting van het celmembraan van een lichaamsvreemde cel of door bevordering van fagocytose van een ziekteverwekker door macrofagen.
- Geheugencellen: langlevende cellen die worden gevormd bij een eerste infectie.
 - Blijven inactief tot een volgende infectie met dezelfde ziekteverwekker.
 - Geheugencellen herkennen dan het antigeen, waardoor een snellere en betere afweerreactie volgt.
- Koppelingseiwitten: voor een sterkere binding tussen lymfocyt en ziekteverwekker, of tussen twee lymfocyten.
 - CD4 bindt aan MHC-II-receptoreiwit (APC).
 - CD8 bindt aan MHC-I-receptoreiwit (geïnfecteerde lichaamscel).

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de onderlinge relatie van de delen van het immuunsysteem toelichten.



LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven op welke manieren immuniteit kan ontstaan.

- Incubatietijd: de tijd tussen besmetting en de eerste ziekteverschijnselen.
 - Primaire reactie: de antistofvorming na de eerste besmetting met het antigeen van de ziekteverwekker.
 - Secundaire reactie: de antistofvorming na de tweede of volgende besmetting met hetzelfde antigeen. Organisme is immuun, er treden geen symptomen meer op.
- Immuun: niet (meer) vatbaar voor een ziekte.
- Immunisatie: opzettelijk blootstellen aan een antigeen.
- Natuurlijke immuniteit: ontstaat doordat een organisme wordt geïnfecteerd door een ziekteverwekker.
- Kunstmatige immuniteit: ontstaat door immunisatie.
 - Actieve immunisatie (vaccinatie): door inenting met een vaccin (dode of verzwakte ziekteverwekker). De persoon vormt zelf antistof. De immuniteit is van langere duur, doordat geheugencellen worden gevormd.
 - Passieve immunisatie: door inspuiten van antiserum met antistoffen. De persoon vormt zelf geen antistof en geen geheugencellen. De immuniteit is tijdelijk, doordat de antistof wordt afgebroken en er geen geheugencellen worden gevormd.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 4

Je kunt beargumenteren welke problemen kunnen ontstaan door antigenen bij transplantaties en bloedtransfusies en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.

- Transplantatie: aangetast weefsel of orgaan wordt vervangen.
 - Een acceptor ontvangt weefsel of orgaan van zichzelf of van een donor.
- Major Histocompatibility Complex (MHC), bij mensen HLA (Human Leukocyte Antigen):
 - eiwitten op celmembranen waarmee herkenning tussen lichaamseigen en lichaamsvreemde cellen plaatsvindt;
 - het HLA-systeem is voor iedere persoon uniek.
- Afstotingsreactie: eiwitten op de membranen van donorcellen worden door het afweersysteem van de acceptor herkend als antigenen.
 - Vooral door cellulaire afweer: cytotoxische T-cellen van de acceptor herkennen in samenhang met MHC-I-receptoreiwitten de lichaamsvreemde HLA-antigenen en vernietigen de donorcellen.
 - In sommige gevallen: antistofvorming die leidt tot zeer snelle afstoting (acute afstoting).

- HLA-matching: bij transplantaties worden donoren gezocht van wie het HLA-systeem zo veel mogelijk overeenkomt met dat van de acceptor.
- Afstotingsreacties worden onderdrukt met medicijnen die het gehele afweersysteem onderdrukken.

- Bloedgroepen van het ABO-systeem:

Bloedgroep	Antigeen op celmembranen van rode bloedcellen	Antistof in bloedplasma
A	A	anti-B
B	B	anti-A
AB	A en B	geen
0 (nul)	geen A en B	anti-A en anti-B

- Bloedtransfusie.
 - Bij voorkeur heeft de donor dezelfde bloedgroep als de acceptor.
 - Rode bloedcellen klonteren samen als antistof van de acceptor reageert met antigeen van de donor. Rode bloedcellen gaan te gronde, waardoor hemoglobine vrijkomt in het bloedplasma (hemolyse).
 - Bloedgroep 0 is de algemene donor.
 - Bloedgroep AB is de algemene acceptor.
- Resusantigeen of resusfactor.
 - Eiwit op de celmembranen van de rode bloedcellen; komt voor bij 85% van de mensen.
 - Resuspositief bloed bevat resusantigeen.
 - Resusnegatief bloed bevat geen resusantigeen en kan antiresus bevatten.
- Bloedtransfusie.
 - Bij voorkeur heeft de donor dezelfde resusfactor (en dezelfde bloedgroep) als de acceptor.
 - Transfusie van resusnegatief bloed naar een resuspositieve acceptor is mogelijk.
- Resusnegatieve moeder die zwanger is van een resuspositief kind:
 - na de bevalling vormt de moeder antiresus-antistoffen;
 - tijdens de volgende zwangerschap(pen) worden rode bloedcellen van een resuspositief kind afgebroken (resuskindje);
 - door toediening van antiresus-antistoffen aan de moeder onmiddellijk na de geboorte wordt de vorming van antiresus-antistoffen door de moeder tegengegaan.
- Resuspositieve moeder die zwanger is van een resusnegatief kind:
 - er zijn geen problemen doordat het kind tijdens de eerste maanden nog geen antistoffen kan maken.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken en selecteren van informatie;
- analyseren welke rol het afweersysteem heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- evalueren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- geven van een beargumenteerde mening;
- herkennen/gebruiken van biologische en ethische argumenten;
- vorm-functiedenken op de niveaus van moleculen en cellen;
- beredeneren van gevolgen van veranderingen in een levensgemeenschap of ecosysteem (ecologisch denken);
- verklaren van afweermechanismen met behulp van evolutiemechanismen (evolutionair denken);
- met elkaar in verband brengen van delen van het afweersysteem op verschillende organisatieniveaus (systeemdenken).

Examentrainer

DE HYGIËNEHYPOTHESE

Bron: examen vwo 2016-1, vraag 23 tot en met 26.

In de afgelopen decennia is in de westerse wereld het aantal gevallen van allergieën en auto-immuunziekten opvallend toegenomen. Eind vorige eeuw publiceerde immunoloog David Strachan een mogelijke verklaring voor deze toename: de hygiënehypothese.

Strachan stelt dat een afgenomen blootstelling aan infectiebronnen in de eerste levensjaren leidt tot een abnormaal heftige afweerreactie op ongevaarlijke antigenen later in het leven. De afgenomen blootstelling aan antigenen in de eerste levensjaren is te danken aan vaccinaties, verbeterde hygiëne en het gebruik van antibiotica.

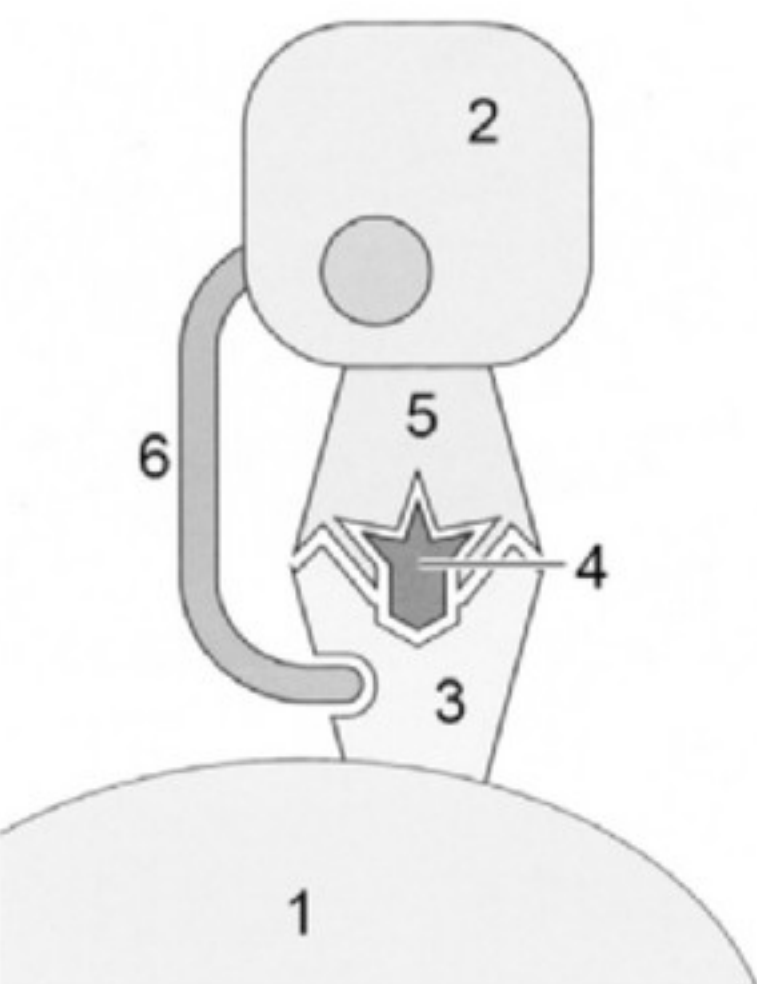
Baby's worden geboren met veel T-helpercellen (Th-lymfocyten). Pas na het doormaken van allerlei kinderziekten worden ook cytotoxische T-cellen (Tc-lymfocyten) gemaakt.

1p 1 Verklaar waardoor een baby na de geboorte meestal niet onmiddellijk cytotoxische T-cellen nodig heeft.

Volgens de hygiënehypothese zijn antistofgerelateerde aandoeningen het gevolg van een verstoorde balans tussen bepaalde pre-T-helpercellen: Th1 en Th2. Vlak na de geboorte zijn er vooral Th2-cellen. Th1-cellen activeren Tc-lymfocyten, Th2-cellen activeren B-lymfocyten. Het doormaken van een infectieziekte, vooral als deze gepaard gaat met koorts, stimuleert de afweer via Th1-cellen. Wanneer het aantal Th1- cellen toeneemt, neemt het aantal Th2-cellen af.

In afbeelding 1 is schematisch weergegeven de presentatie van een antigeen door een antigeen-presenterende cel (APC) waardoor een pre-T-helpercel wordt geactiveerd.

▼ Afb. 1 Activatie van een pre-T-helpercel door antigeen-presentatie.



- Legenda:
- 1 = APC
 - 2 = pre-T-helpercel
 - 3 = MHC II
 - 4 = antigeen
 - 5 = receptor
 - 6 = CD4

1p 2 Verklaar waardoor een pre-T-cytotoxische cel *niet* zal reageren op de presentatie van het antigeen door deze APC.

Kinderen die in een té hygiënische omgeving opgroeien, zouden volgens de hygiënehypothese een verhoogd risico lopen op het ontwikkelen van allergieën. Een verklaring hiervoor is dat deze kinderen, doordat ze zelden een infectieziekte doormaken, relatief veel van een bepaald type lymfocyten (1) hebben, die de vorming van bepaalde andere lymfocyten (2) stimuleren, die antistoffen gaan produceren tegen (onbekende maar) ongevaarlijke antigenen, zoals stuifmeel.

2p 3 Welke typen lymfocyten moeten op plaats 1 en plaats 2 van bovenstaande verklaring worden ingevuld?

	plaats 1	plaats 2
A	B-lymfocyten	Th1-lymfocyten
B	B-lymfocyten	Th2-lymfocyten
C	Th1-lymfocyten	B-lymfocyten
D	Th1-lymfocyten	Tc-lymfocyten
E	Th2-lymfocyten	B-lymfocyten
F	Th2-lymfocyten	Tc-lymfocyten

2p 4 Leg uit hoe, volgens de hygiënehypothese, het toedienen van antibiotica tegen allerlei bacteriën in de eerste levensjaren kan bijdragen aan een allergische reactie van het immuunsysteem later in het leven.

CROSS-OVER NIERTRANSPLANTATIE

Bron: bezemexamen vwo 2016-1, vraag 1 tot en met 4.

Gemiddeld wordt er in Nederland elke dag een nier getransplanteerd. Dat blijkt uit cijfers van Eurotransplant, een stichting die zorgt voor de verdeling van donororganen in onder andere de Benelux en Duitsland. Voordat zo'n operatie plaatsvindt, is er al een lange weg bewandeld, waarbij tests moeten uitwijzen of de nieren van donor en ontvanger wel voldoende overeenkomen (matchen). Allereerst kijkt men of de bloedgroepen een goede match vormen. In afbeelding 2 is de verdeling van de bloedgroepen van het AB0-systeem over de Nederlandse bevolking weergegeven.

▼ Afb. 2 Verdeling bloedgroepen in Nederland.

Bloedgroepen	A	B	AB	0
% bevolking	42%	8%	3%	47%

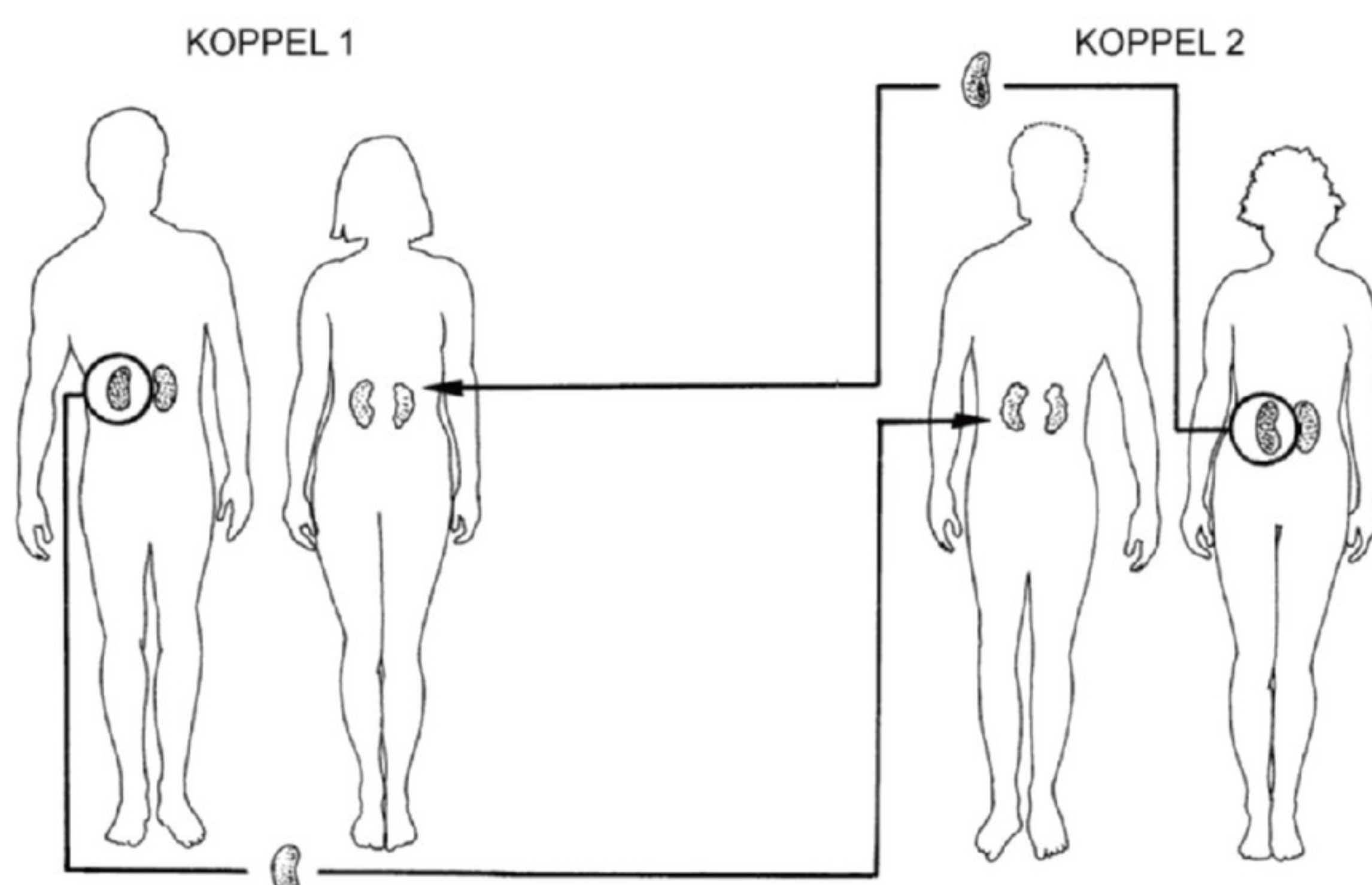
Soms wil een partner of familielid van de nierpatiënt een nier doneren, maar kan dat niet omdat de test heeft uitgewezen dat het verschil in bloedgroep tussen donor en ontvanger een succesvolle transplantatie onmogelijk maakt.

Als iemand bloed krijgt van een donor met een andere bloedgroep, kan agglutinatie (samenklontering) van de rode bloedcellen optreden. Toch zijn er bij sommige bloedgroepen meer mogelijkheden dan alleen maar een transfusie met bloed met de identieke bloedgroep. Een patiënt met bloedgroep B kan, indien nodig, druppelsgewijs bloed toegediend krijgen van een donor met bloedgroep 0.

- 2p 5 Waardoor zal deze bloeddonatie geen agglutinatie veroorzaken?
- A Het bloed van de acceptor bevat geen ABO-antigenen.
 - B Het bloed van de acceptor bevat geen ABO-antistoffen.
 - C Het bloed van de donor bevat geen ABO-antigenen.
 - D Het bloed van de donor bevat geen ABO-antistoffen.

In Nederland staan veel mensen op de wachtlijst om een donornier te ontvangen. Soms wil een partner of verwante van een nierpatiënt wel een nier doneren, maar kan dat niet door bijvoorbeeld een verschil in bloedgroep. Men spreekt dan van een incompatibel koppel. Een cross-over-niertransplantatie kan in bepaalde gevallen uitkomst bieden. In het Erasmus Medisch Centrum Rotterdam werd in 2003 deze dubbele transplantatie voor het eerst uitgevoerd. Hierbij werden nieren uitgewisseld tussen levende donoren en ontvangers van twee koppels (partners of verwanten) die onderling geen goede match vormden (zie afbeelding 3). In Rotterdam verwacht men met dit programma iets aan de lange wachtlijsten te kunnen doen.

▼ Afb. 3



Er staan drie koppels op de wachtlijst voor een niertransplantatie.

De bloedgroepen van de drie nierpatiënten en hun verwante donor zijn:

koppel 1	patiënt 0	donor A
koppel 2	patiënt A	donor B
koppel 3	patiënt AB	donor 0

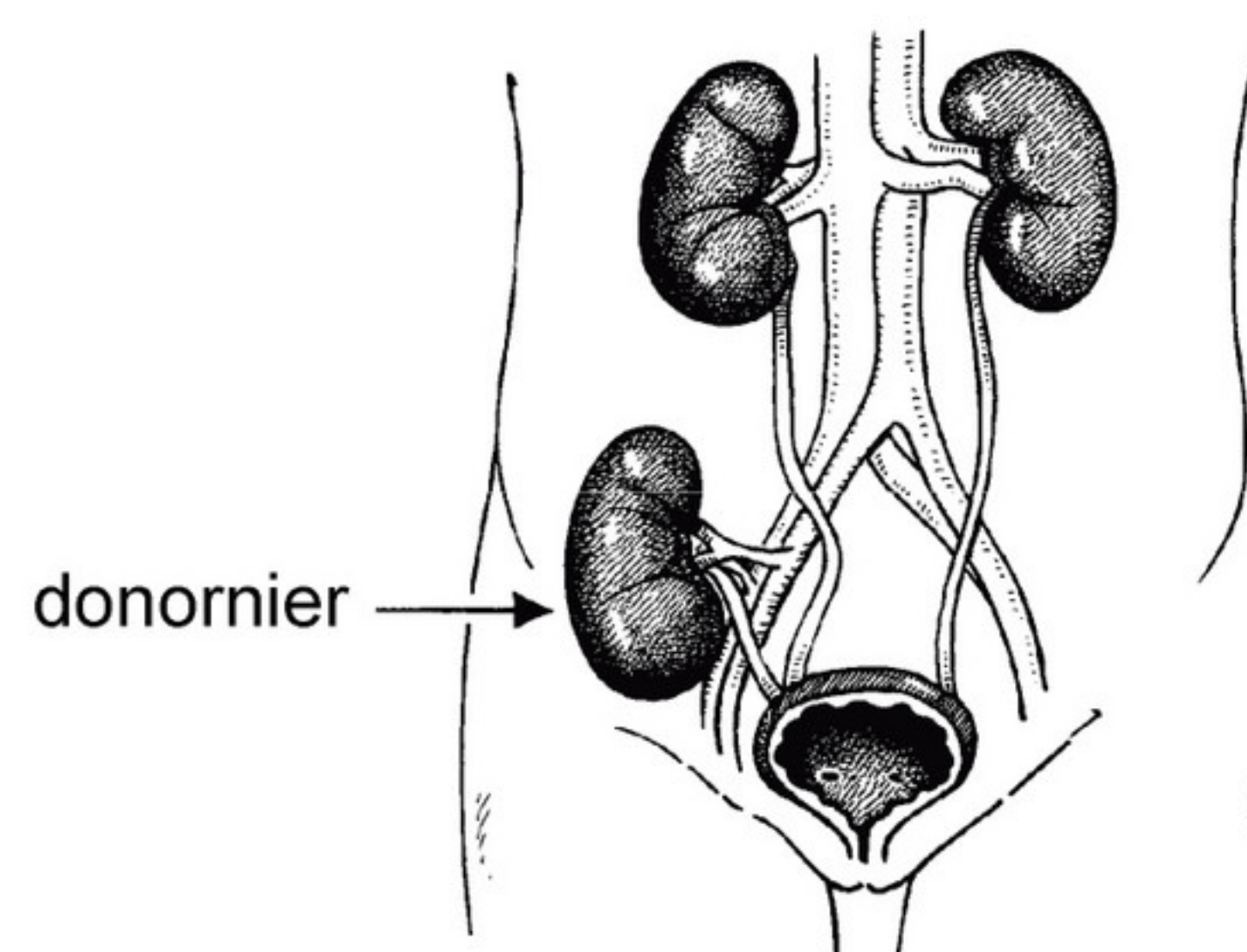
- 2p 6 Welke koppels zijn op grond van hun bloedgroepen geschikt voor een onderlinge cross-over-niertransplantatie?
- A alleen koppel 1 met koppel 2
 - B alleen koppel 1 met koppel 3
 - C alleen koppel 2 met koppel 3
 - D koppel 1 met koppel 3, en koppel 2 met koppel 3

Soms is een koppel wel ABO-compatibel, maar is het resultaat van de HLA-kruisproef helaas positief. Bij deze kruisproef worden lymfocyten van de donor met serum van de acceptor gemengd. Op die manier wordt duidelijk of in het bloed van de acceptor antistoffen aanwezig zijn tegen HLA-eiwitten van de donor. Is de uitslag positief, dan kan geen nierdonatie plaatsvinden. De kans op een positieve HLA-kruisproef is groter wanneer de acceptor de vrouw is van de donor en de moeder van zijn kinderen, dan wanneer de acceptor de man is van de donor en de vader van haar kinderen.

- 2p 7 Geef hiervoor een verklaring.

Bij een niertransplantatie blijven de oorspronkelijke nieren en urineleiders normaal gesproken zitten en wordt de donornier met zijn eigen nierader, nierslagader en urineleider in het bekken geplaatst. De nierader van de donornier wordt verbonden met een beenader, de nierslagader met een beenslagader (zie afbeelding 4).

▼ Afb. 4



- 2p 8 Leg uit wat een nadeel is van deze plaats van aanhechting voor de werking van de donornier.

5

Samenhang van de biologie

Dit overzicht behandelt belangrijke onderwerpen uit de biologie vanuit verschillende organisatieniveaus (molecuul, cel, orgaan, organisme, populatie, ecosysteem, biosfeer). Zo leer je de samenhang kennen tussen verschillende biologische begrippen en processen. Hoewel het geen volledig overzicht is van de examenstof, helpt dit thema je wel om verbanden te leggen die bij het examen van pas kunnen komen.

1	Cellen, de basis van het leven	220
2	DNA en erfelijkheid	222
3	Organismen	224
4	De aarde als levend systeem	228





1 Cellen, de basis van het leven

Alle organismen zijn opgebouwd uit een of meer cellen. Cellen zijn biologische eenheden die levensverschijnselen vertonen. Alles wat organismen doen, is gebaseerd op de activiteit van cellen. De chemische reacties in cellen worden stofwisselingsprocessen genoemd, omdat de ene stof wordt omgezet in een andere stof.

STOFWISSELING

Er zijn twee typen stofwisselingsprocessen: assimilatieprocessen en dissimilatieprocessen. Beide processen vinden continu plaats in de cel.

Bij assimilatie worden organische moleculen opgebouwd uit kleinere (an)organische stoffen. De opgebouwde organische moleculen zijn nodig voor groei, vervanging en herstel, en voor de vorming van reservestoffen. Assimilatieprocessen kosten energie.

Een belangrijk assimilatieproces is fotosynthese. Daarbij maken planten glucose met behulp van energie uit (zon)licht, koolstofdioxide en water. Fotosynthese bestaat uit een lichtreactie en een donkerreactie. Bij de lichtreactie wordt lichtenergie vastgelegd in energierijke stoffen zoals ATP en NADPH, H⁺. Bij de donkerreactie wordt met behulp van deze ATP en NADPH, H⁺ water en koolstofdioxide omgebouwd tot glucose. Via voortgezette assimilatie wordt glucose verder omgezet in andere koolhydraten, vetten, eiwitten en DNA.

Chemosynthese is een vorm van koolstofassimilatie waarbij de benodigde energie wordt verkregen uit de oxidatie van een anorganische stof, bijvoorbeeld de oxidatie van ammoniak tot nitrietionen door nitrietbacteriën.

Bij dissimilatie worden organische moleculen afgebroken tot kleinere moleculen. Hierbij komt energie vrij. Die energie wordt onder andere gebruikt voor beweging en voor assimilatieprocessen. Ook komt er energie vrij in de vorm van warmte. Een belangrijk dissimilatieproces is de afbraak van glucose. Glucose kan worden afgebroken met zuurstof (aerobe dissimilatie, vaak verbranding genoemd) of zonder zuurstof (anaerobe dissimilatie of gisting). Verbranding levert meer energie op dan gisting.

ENZYMEN EN ANDERE EIWITTEN

Eiwitten spelen een belangrijke rol binnen de cel en tussen cellen. Eiwitten zorgen voor structuur (cytoskelet, celmembraan), transport (hemoglobine, porie-eiwitten) en communicatie (hormonen, neurotransmitters). Daarnaast spelen eiwitten een rol bij biochemische omzettingen (enzymen).

Enzymen zijn eiwitten die chemische reacties in cellen versnellen zonder daarbij zelf te worden verbruikt. Er vinden honderden verschillende chemische processen plaats in een organisme en elk van die processen wordt gekatalyseerd door een specifiek enzym.

Enzymen hebben een optimumtemperatuur en een optimum-pH. Bij een temperatuur lager dan het optimum zetten enzymen het substraat minder snel om, bij een hogere temperatuur juist sneller. Boven de optimumtemperatuur verliezen enzymen hun specifieke ruimtelijke structuur (denatureren). Daardoor vermindert

het aantal nog werkende enzymen. De totale omzetsnelheid neemt daardoor weer af. Door deze eigenschap van enzymen groeien planten bijvoorbeeld minder snel bij een lage temperatuur, en zijn koudbloedige dieren zoals kikkers trager in het voorjaar dan in de zomer.

In een organisme komen enzymen met verschillende optimum-pH's voor. In het verteringsstelsel van de mens komen enzymen voor met een optimum-pH van 6–7 (mond), 1–2 (maag) en 6–8 (darmen).

SOORTEN CELLEN

Veel organismen zijn eencellig. Complexere organismen, zoals planten en dieren, zijn meercellig. Hun lichamen bestaan uit veel gespecialiseerde cellen die samenwerken. Aan de basis van gespecialiseerde cellen staan stamcellen. Afhankelijk van de omstandigheden vormen ze bepaalde celtypen, weefsels en organen.

Hoewel er vele gespecialiseerde cellen zijn, delen alle cellen bepaalde eigenschappen. Zo is elke cel omgeven door een selectief-permeabel membraan dat de doorgang van stoffen tussen de cel en de omgeving regelt. Sommige stoffen diffunderen van een plaats met een hoge concentratie naar een plaats met een lage concentratie. Deze vorm van passief transport kost geen energie. Andere stoffen moeten actief door de cel worden opgenomen of uitgescheiden. Actief transport kost wel energie.

Nog een overeenkomstige eigenschap van cellen is dat elke cel de genetische informatie in het DNA gebruikt voor het maken van eiwitten.

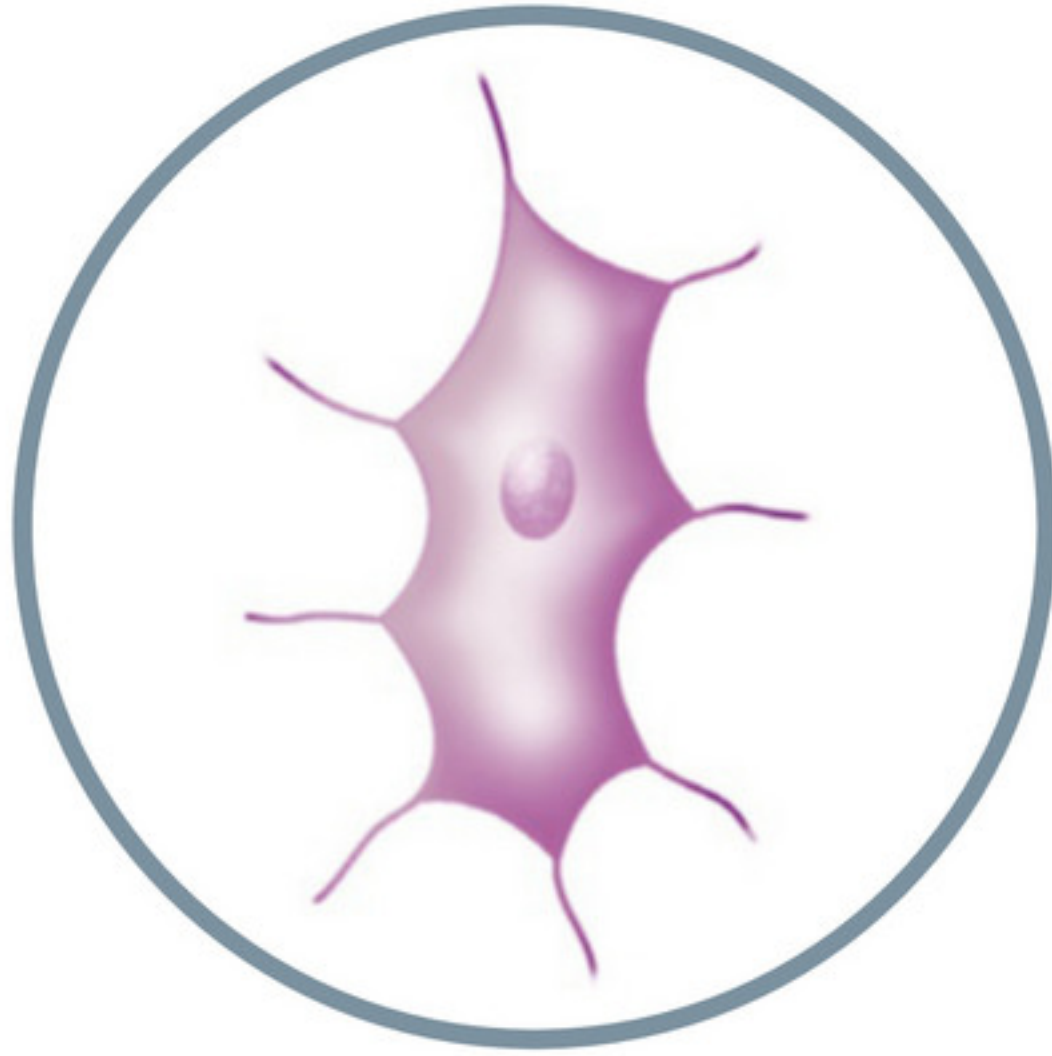
CELDELING

Cellen zijn biologische eenheden die zich kunnen delen. Dit is nodig zodat organismen kunnen groeien of beschadigde delen kunnen herstellen.

Voordat een cel zich deelt, vindt eerst DNA-replicatie plaats. Daarna volgt de deling van de kern (mitose) gevolgd door de celdeling. Tot slot snoert de cel tussen de kernen in en ontstaan er twee nieuwe cellen: de moedercel en de identieke dochtercel.

Na de celdeling worden nieuw cytoplasma en organellen gevormd. Vervolgens vindt er opnieuw replicatie en mitose plaats. Dit proces van replicatie, deling en groei tot aan de volgende replicatie wordt de celcyclus genoemd.

▼ **Afb. 1** Een cel: een beencel.



2 DNA en erfelijkheid

In de natuur bestaan twee typen voortplanting: geslachtelijk en ongeslachtelijk. Bijna alle planten kunnen zich op beide manieren voortplanten. Veel dieren kunnen zich, net als de mens, alleen maar geslachtelijk voortplanten.

VOORTPLANTING

Bij ongeslachtelijke voortplanting worden dezelfde genen doorgegeven. Dit is vooral gunstig voor de soort onder gelijkblijvende omstandigheden. Geslachtelijke voortplanting leidt tot recombinatie, waardoor het nageslacht genetisch verschilt van de ouders. Dit is vooral gunstig onder veranderende milieuomstandigheden, omdat soorten zich dan sneller kunnen aanpassen.

CHROMOSOMEN EN GENEN

Elk mens ontstaat uit een eicel en een zaadcel. Elk van deze geslachtscellen bevat 23 chromosomen met DNA. Bij voortplanting komen deze chromosomen bij elkaar en zo ontstaat een nieuwe mens met unieke genetische eigenschappen.

Het erfelijk materiaal van de mens bestaat uit 23 paar chromosomen. De DNA-moleculen in deze chromosomen bestaan uit verschillende genen. Een gen is een afgebakend stuk chromosoom dat de informatie bevat voor de aanmaak van een of meer eiwitten.

In lichaamscellen komen chromosomen voor in paren en ligt de informatie voor een erfelijke eigenschap in een genenpaar. Een van de genen van een genenpaar wordt ook wel een allel genoemd. Bij twee gelijke allelen spreekt men van homozygoot, bij twee ongelijke genen van heterozygoot.

VAN DNA TOT EIWIT

Elk DNA-molecuul is opgebouwd uit vier verschillende stikstofbasen (nucleotiden). De volgorde van deze vier nucleotiden in het DNA bepaalt de code voor erfelijke informatie.

Voor de aanmaak van eiwitten vinden achtereenvolgens de processen transcriptie, splicing en translatie plaats. Tijdens de transcriptie wordt langs het gen een pre-mRNA-molecuul gemaakt. Pre-mRNA bestaat uit introns en exons. Tijdens splicing worden introns uit het pre-mRNA-molecuul geknipt en de exons aan elkaar verbonden. Uit één pre-mRNA-molecuul kunnen verschillende mRNA-moleculen worden gevormd. mRNA bestaat uit een lange reeks van codons. Een codon codeert voor één aminozuur (bouwsteen van een eiwit). Tijdens de translatie worden de codons van mRNA door een ribosoom afgelezen en vertaald in een eiwit. Hierbij koppelt het ribosoom de aminozuren aan elkaar tot een eiwit. Bij mensen komen twintig verschillende aminozuren voor. Twaalf daarvan kan het lichaam zelf maken, de andere acht (de essentiële aminozuren) moeten in het voedsel aanwezig zijn. Eiwitten kunnen honderden tot duizenden aminozuren lang zijn. Doordat de aminozuurvolgorde en lengte van elk type eiwit verschillend zijn, verschillen deze in eigenschappen.

Het startcodon AUG, dat codeert voor methionine, is het begin van elke aminozuurketen. De eiwitsynthese stopt wanneer een ribosoom een stopcodon bereikt. De functie van eiwitten wordt bepaald door de aminozuurvolgorde en de ruimtelijke structuur.

▼ **Afb. 2** Een molecuul: DNA.



GENEXPRESSIE

Elke cel van ons lichaam bevat hetzelfde DNA, maar een cel maakt slechts een klein aantal eiwitten. Genen kunnen onder bepaalde omstandigheden worden aan- of uitgezet (genregulatie). Een gen wordt aangezet wanneer een inductor bindt aan een repressor. Daardoor wordt transcriptie mogelijk en wordt langs het gen een pre-mRNA-molecuul gemaakt dat uiteindelijk door ribosomen wordt omgezet in een eiwit (genexpressie). Het reguleren van de genexpressie maakt het voor cellen mogelijk om verschillende eiwitten (bijvoorbeeld enzymen) te produceren op het moment dat de cel ze nodig heeft. De genexpressie in een cel hangt af van de milieufactoren en de celfunctie. Soms wordt de invloed van het milieu op genexpressie overgeërfd, zonder dat daarbij het DNA verandert. Dit wordt bestudeerd in het vakgebied epigenetica.

MUTATIES EN TUMOREN

Mutaties zijn veranderingen in de nucleotidevolgorde van het DNA (waardoor een RNA-molecuul wordt gevormd met een wijziging). Er zijn verschillende typen mutaties. Een puntmutatie is een verandering in één nucleotide-paar. Een chromosoommutatie is een verandering van een deel van een chromosoom met meerdere genen. Bij een genoommutatie verandert het aantal chromosomen in een cel, zoals bij het syndroom van Down. Mutaties kunnen spontaan plaatsvinden of worden veroorzaakt door mutagene stoffen of mutagene straling (radioactieve straling, uv-straling of röntgenstraling). Het effect van mutaties is groot in geslachtscellen, in een bevruchte eicel of in een cel van een embryo. Mutaties in lichaamscellen hebben over het algemeen geen merkbare gevolgen.

Mutaties leiden vaak tot een verandering in vorm en functie van het eiwit. Daardoor kunnen bijvoorbeeld bepaalde stofwisselingsprocessen niet meer (goed) verlopen. Mutaties leiden niet tot merkbare gevolgen als een mutatie heeft plaatsgevonden in een uitgeschakeld gen, of als het triplet met de veranderde base nog steeds voor hetzelfde aminozuur codeert. Daarnaast heeft een mutatie in een eiwit geen gevolgen als de mutatie optreedt op een plaats die voor de werking onbelangrijk is.

Mutaties in lichaamscellen kunnen soms leiden tot tumoren (gezwellen). Een goedaardige tumor is een tumor die de bouw van het weefsel niet verstoort en waarvan er geen cellen loslaten die elders uitzaaiingen veroorzaken. Kwaadaardige tumoren (kanker) delen sneller dan goedaardig tumoren. Ze verstoren de bouw van het weefsel en veroorzaken uitzaaiingen (metastase). Naarmate de cel ouder is, neemt de kans op mutaties toe.

Mutaties kunnen echter ook een positief effect hebben op de overlevingskans van het organisme. Ze spelen zo een belangrijke rol bij de evolutie. Door opeenvolgingen van mutaties, recombinatie en natuurlijke selectie kunnen soorten zich door de jaren heen aanpassen aan de omgeving.

DNA-MODIFICATIE

Met onze huidige kennis kunnen wetenschappers de erfelijke eigenschappen van organismen wijzigen. Hierdoor krijgt een organisme eigenschappen die het van nature niet bezit. Dit heet genetische modificatie. Een voorbeeld van genetische modificatie is de recombinant-DNA-techniek. Hierbij wordt een gen van een bepaald organisme ingebracht in een ander organisme, vaak een bacterie. Dit kan doordat alle organismen dezelfde nucleotiden in het DNA hebben. Bacteriën met recombinant-DNA produceren eiwitten die kunnen worden gebruikt voor specifieke doeleinden, bijvoorbeeld om medicijnen te maken. Organismen waarbij het DNA is veranderd, heten transgeen of genetisch gemodificeerd organisme (ggo).

3 Organismen

De cellen van je lichaam zijn gegroepeerd in weefsels en organen. Elk orgaan in het lichaam heeft zijn eigen functie(s). Zo zorgen de organen van het verteringsstelsel ervoor dat voedingsstoffen worden opgenomen. De longen zorgen voor aanvoer van zuurstof en afvoer van koolstofdioxide.

HOMEOSTASE

Alle cellen in weefsels en organen hebben een continue stroom aan voedingsstoffen en zuurstof nodig. Daarnaast produceren ze afvalstoffen en warmte die moeten worden afgevoerd. Dit gebeurt met extracellulaire lichaamsvloeistoffen, zoals weefselvloeistof en bloed in de bloedvaten. Dankzij deze vloeistoffen krijgen cellen de stoffen die ze nodig hebben en worden de afvalstoffen afgevoerd. Het is voor cellen van levensbelang dat deze stoffen voortdurend worden aangevoerd en afgevoerd. Hersencellen bijvoorbeeld gaan dood als ze slechts enkele minuten geen zuurstof krijgen. Een verandering van de lichaamstemperatuur en pH kan de enzymwerking verstoren, waardoor bepaalde stofwisselingsprocessen minder optimaal verlopen. Een verlaging van de koolstofdioxidespanning kan leiden tot hyperventilatie.

Lichaamscellen functioneren het best wanneer het inwendige milieu van de mens zo veel mogelijk constant wordt gehouden. Dit wordt ook wel homeostase genoemd. Voor het reguleren van de homeostase worden allerlei waarden gemeten en vergeleken met de normwaarde, zoals de temperatuur, de hoeveelheid glucose en koolstofdioxide in het bloed en de zuurgraad. Hiervoor zijn het zintuigstelsel, het autonome zenuwstelsel en het hormoonstelsel verantwoordelijk.

Het handhaven van homeostase vindt meestal plaats door regelkringen met negatieve terugkoppeling, een controlemechanisme waarbij waarden op het juiste niveau worden gehouden. Hierdoor ontstaat een dynamisch evenwicht.

VERTERINGSSTELSEL

Het verteringsstelsel is een belangrijk orgaanstelsel waarmee het organisme voedsel kan opnemen. Dieren eten voedsel om organische moleculen en mineralen binnen te krijgen. Sommige organische moleculen kan het menselijk lichaam niet zelf maken. Deze moeten daarom in het voedsel voorkomen. Tot deze groep van essentiële voedingsstoffen behoren sommige aminozuren, vetzuren, vitaminen en mineralen.

Voor de mens is het doel van verteren om voedsel zo klein te maken dat het door de darmwand kan worden opgenomen. Voedsel komt via de mond het verteringsstelsel binnen en wordt daar door kiezen tot kleine stukjes vernalen. Daardoor neemt het oppervlak van het voedsel toe en kan het beter worden verteerd door enzymen uit het speeksel, de maag, de alvleesklier en de dunne darm. De maag produceert naast enzymen ook maagzuur, dat de meeste bacteriën uit het voedsel doodt. In de twaalfvingerige darm wordt onder andere gal aan de voedselbrij toegevoegd om vetten te emulgeren. Hierdoor neemt het oppervlak van de vetten toe, zodat enzymen beter bij het vet kunnen en het sneller wordt afgebroken.

De dunne darm heeft een groot oppervlak door een sterke plooïing. Hierdoor is de resorptie van voedingsstoffen groot. Resorptie is niet alleen een actief proces,

▼ **Afb. 3** Een orgaan: een bot.



maar kan ook selectief plaatsvinden. In de dikke darm wordt water geresorbeerd en vindt de productie van vitamine K door bacteriën plaats. De onverteerde voedselbrij verlaat het verteringsstelsel samen met veel darmbacteriën via de anus.

UITSCHEIDINGSORGANEN

Om de homeostase in stand te houden, worden stoffen uit je bloed verwijderd en buiten je lichaam gebracht. Zo scheidt de lever gal en ureum uit. De longen scheiden koolstofdioxide en water uit. De nieren scheiden onder andere water, ureum en mineralen uit, waardoor ze een belangrijke rol spelen in het handhaven van de osmotische waarde van het interne milieu. De huid scheidt mineralen en water uit, waardoor deze een belangrijke rol speelt in het handhaven van een constante lichaamstemperatuur.

BLOED

De aanvoer van stoffen naar en de afvoer van stoffen uit de cellen in het menselijk lichaam wordt verzorgd door hart en bloedvaten. De gesloten dubbele bloedsomloop bij mensen transporteert glucose vanuit de lever en spieren, en zuurstof vanuit de longen naar de cellen toe. Water en afvalstoffen van cellen passeren de nieren en longen en kunnen daar worden uitgescheiden.

Bloed bestaat uit verschillende componenten. Bloedplasma transporteert onder andere voedingsstoffen, afvalstoffen en hormonen. De witte bloedcellen spelen een belangrijke rol bij de afweer. Bloedplaatjes zijn nodig voor bloedstolling. Rode bloedcellen vervoeren zuurstof en koolstofdioxide via het eiwit hemoglobine. In hemoglobine zit ijzer, dat zuurstof kan binden. Ijzergebrek kan leiden tot vermoeidheidsverschijnselen, doordat het bloed te weinig zuurstof vervoert naar de cellen. Hierdoor kunnen cellen minder energie vrijmaken.

DE BLOEDVATEN

Het hart pompt het bloed via slagaders naar de organen. Omdat de druk hoog is, zijn de slagaders dik, stevig en elastisch. In organen vertakken de slagaders zich in arteriolen. De hoeveelheid bloed die door een weefsel of orgaan stroomt, kan in deze arteriolen worden geregeld.

De arteriolen vertakken zich uiteindelijk tot haarvaten, waarvan de wand uit één cellaag bestaat. De bloeddruk zorgt ervoor dat vocht met stoffen de haarvaten verlaat en als weefselvloeistof cellen voorziet van voedingsstoffen en zuurstof. In de haarvaten stroomt het bloed langzaam en wordt zuurstof losgekoppeld van hemoglobine. De zuurstofmoleculen diffunderen via de weefselvloeistof naar de cellen.

Bij dissimilatie in de cellen ontstaat koolstofdioxide, dat via de weefselvloeistof naar het bloed in de haarvaten diffundeert. Door colloïd-osmotische druk wordt weefselvloeistof met daarin afvalstoffen weer opgenomen in de haarvaten of in het lymfesysteem.

Haarvaten herenigen zich tot venulen, die zich verenigen tot aders. Hierdoor stroomt het bloed terug naar het hart. De wanden van aders zijn dunner en minder elastisch dan die van slagaders. De bloeddruk is lager en in veel aders bevinden zich kleppen die het bloed in één richting doorlaten.

De poortader is een bijzondere ader, omdat deze niet rechtstreeks van de darmen naar het hart gaat, maar naar de lever. Doordat in de darmwand resorptie van voedingsstoffen plaatsvindt, kan de samenstelling van het bloed in de poortader sterk variëren.

Een teveel aan glucose wordt in de lever omgezet in glycogeen. Hierbij speelt het hormoon insuline een belangrijke rol. Bij een laag glucosegehalte van het bloed wordt glucagon afgegeven waardoor glycogeen weer wordt omgezet in glucose die aan het bloed wordt afgegeven. Het bloed transporteert de hormonen van de alvleesklier die deze processen regelen. De lever en de alvleesklier vervullen zo een belangrijke functie in het constant houden van de glucosespiegel.

AFWEER

De huid is het grootste orgaan van de mens. De huid beschermt het lichaam tegen beschadiging, binnendringing van ziekteverwekkers en beschadiging van DNA door ultraviolette straling, uitdroging en oververhitting.

Het immuunsysteem beschermt het lichaam tegen binnengedrongen ziekteverwekkers. Het immuunsysteem kent twee vormen van afweer: aangeboren en verworven afweer. Bij de aangeboren afweer spelen fagocyten (granulocyten en macrofagen) een rol. Zij reageren snel op binnengedrongen ziekteverwekkers door ze te fagocyteren. Daarbij veranderen ze in een antigeen-presenterende cel. De aangeboren afweer is vaak niet afdoende. Aansluitend vindt een tweede type afweer plaats, waarbij lymfocyten een rol spelen. Deze wordt de verworven afweer genoemd.

De verworven afweer is langzamer, maar vaak erg efficiënt doordat afweer tegen een specifieke ziekteverwekker wordt opgebouwd. Hierbij biedt de antigeen-presenterende cel het antigeen van de ziekteverwekker via zijn MHC-II-receptoreiwit aan een T- en B-lymfocyt aan. De T- en B-lymfocyt worden hierbij geactiveerd. De T-lymfocyten kunnen zich ontwikkelen tot T-helpercellen en cytotoxische T-cellen, die kunnen differentiëren tot T-geheugencellen (cellulaire afweer). Cytokinen uit T-helpercellen activeren B-lymfocyten tot de vorming van plasmacellen en B-geheugencellen (humorale afweer). Plasmacellen vormen antistoffen tegen lichaamsvreemde antigenen. T- en B-geheugencellen worden direct geactiveerd bij een volgende infectie met dezelfde ziekteverwekker, waardoor je immuun voor de ziekte bent geworden (natuurlijke immuniteit).

Actieve immunisatie (kunstmatige immuniteit) wordt verkregen met een vaccin en passieve immunisatie met een antistof.

Afstotingsverschijnselen bij transplantatie worden voornamelijk veroorzaakt door geactiveerde T-cellen.

WAARNEMEN

Prikkels zijn invloeden uit het milieu op een organisme. Zintuigcellen zetten prikkels om in impulsen. Voorbeelden van zintuigcellen zijn lichtreceptoren in de ogen, waarmee je kunt zien, en smaakreceptoren in de tong, waarmee je kunt proeven. Neuronen geleiden en verwerken impulsen.

Dankzij de zintuigcellen kunnen we onze omgeving waarnemen. Als je bijvoorbeeld een warme pan vasthoudt, wordt deze prikkel door pijnzintuigcellen omgezet in impulsen. Deze impulsen worden via de sensorische neuron naar de hersenen gestuurd. In de hersenschors wordt deze informatie in gevoelscentra geïnterpreteerd als pijn. Je hersenen sturen vervolgens vanuit de bewegingscentra impulsen naar motorische neuron die de spieren van je vingers controleren, waardoor je de pan loslaat.

Als je echter een heel hete pan vasthoudt, wordt de prikkel ook omgezet in een impuls, maar gaat deze via het ruggenmerg direct naar je spieren van de vingers, waardoor je in een reflex de pan loslaat. Een fractie van een seconde later voel je de intense pijn. De impuls is nu gearriveerd in het gevoelscentrum van je hersenen. Als je vervolgens een pijnstillertje inneemt, worden de impulsen bij de synaptische

spleet geblokkeerd. Je neemt dan geen pijn meer waar. Als je met een elektrode de impulsen van de sensorische zenuw in beide gevallen zou meten, dan zou in de situatie met de heel hete pan de frequentie van de impulsen hoger zijn dan in de situatie met de warme pan. De impulssterkte (amplitude) zou gelijk zijn.

AUTONOME ZENUWSTELSEL

Het autonome zenuwstelsel bestaat uit het orthosympatische deel en het parasympatische deel. Samen zorgen ze voor homeostase. Elk orgaan is verbonden met een orthosympatische en een parasympatische zenuw.

Het orthosympatische deel maakt het lichaam klaar voor actie door de verbranding te bevorderen, de frequentie van hartslag en ademhaling te verhogen, de bloedvaten en de bronchiën te verwijden en de lever aan te zetten tot het vormen van glucose uit glycogeen. Het parasympatische deel brengt het lichaam in een toestand van rust en herstel. Het bevordert onder meer de bloedtoevoer naar het verteringsstelsel.

GEDRAG

Het zenuwstelsel, zintuigstelsel en hormoonstelsel zijn onmisbaar voor het gedrag van mens en dier. Door hun gedrag kunnen mensen en andere organismen hun overlevingskansen en voortplantingssucces vergroten.

Bij de meeste handelingen reageert een dier of mens op prikkels. De reactie van een dier op prikkels wordt de respons genoemd.

Een sleutelprikkel is een prikkel die een doorslaggevende rol speelt bij het veroorzaken van het gedrag. Een supranormale prikkel is een kunstmatige prikkel die een sterker gedrag opwekt dan de natuurlijke sleutelprikkel.

Gedrag wordt bepaald door verschillende leerprocessen en door erfelijke factoren (aangeboren gedrag of instinct). Aangeboren gedrag heeft als voordeel dat dieren al vanaf de geboorte het passende gedrag kunnen vertonen, bijvoorbeeld een pasgeboren vogel die zich verstopt voor een vos. Leerprocessen zorgen ervoor dat dieren en mensen zich kunnen aanpassen aan veranderende omstandigheden. Daardoor vertonen ze beter aangepast gedrag, wat de overlevingskansen doet toenemen.

ZELFREGULATIE, ZELFORGANISATIE EN EMERGENTE EIGENSCHAPPEN

Biologische eenheden zoals organismen en cellen zijn in staat om zichzelf in stand te houden door zelfregulatie. Zelfregulatie vindt bijvoorbeeld plaats door herstel van schade en door verdediging tegen indringers en schadelijke stoffen. Om in leven te blijven, moeten organismen ademen, zich voeden en zich aanpassen aan hun omgeving. Dieren moeten zich verplaatsen om te overleven. Zelfregulatie komt ook tot stand door hormonen, door zenuwen, door zintuigen en via transport van stoffen.

Complexe zelfregulatie wordt mogelijk doordat biologische eenheden zichzelf organiseren. Door deze zelforganisatie zijn biologische eenheden in staat zichzelf te organiseren tot 'biologische eenheden van een hogere orde'. Daardoor ontstaan er nieuwe structuren: cellen kunnen zich bijvoorbeeld organiseren tot een weefsel (nieuwe structuur) en weefsels tot een orgaan (nieuwe structuur). Met deze nieuwe structuren ontstaan emergente eigenschappen, die op een lager niveau niet te zien zijn. Een bloedvatenstelsel (organenstelsel) bijvoorbeeld kan bloed rondpompen, een bloedcel (cel) of bloedvat (orgaan) kan dat niet.

▼ **Afb. 4** Een organisme: een grutto.



4 De aarde als levend systeem

Op een hoger organisatieniveau kun je organismen bestuderen op het niveau van populaties. Populaties leven in een ecosysteem. Alle ecosystemen samen vormen de biosfeer (het systeem aarde).

POPULATIES

Een populatie is een groep organismen van één soort die in een bepaald gebied leeft en zich onderling voortplant. Binnen een populatie bestaat er coöperatie (samenwerking) en concurrentie (competitie, strijd). Bij coöperatie kunnen organismen van elkaars aanwezigheid profiteren door bijvoorbeeld samen naar voedsel te zoeken of elkaar te waarschuwen voor roofdieren. Bij concurrentie gaat het bijvoorbeeld om voedsel of om het vinden van een partner voor de voortplanting.

Gedrag wordt bij veel dieren en mensen sterk beïnvloed door soortgenoten. Het gedrag van soortgenoten ten opzichte van elkaar wordt sociaal gedrag genoemd. Tot sociaal gedrag behoort onder andere gedrag dat de functie heeft om de rangorde binnen groepen vast te stellen. Ook speelt sociaal gedrag een rol bij de taakverdeling binnen groepen: wie verzorgt de kinderen, wie bewaakt het territorium? Samenleven in een groep vergroot de kans op overleven, doordat het zorgt voor bescherming en een grotere kans op het vinden van voedsel en op voortplanting.

Net als de gehele natuur zijn ook populaties aan verandering onderhevig. Ze kunnen groeien of krimpen. De verandering van populatiedichtheid wordt onder andere beïnvloed door predatie, parasitisme, ziekte en voedselconcurrentie. Door negatieve terugkoppeling ontstaat een biologisch evenwicht. Ook abiotische factoren hebben invloed op de populatiedichtheid. Bij langdurige droogte kan bijvoorbeeld een plas droogvallen, waardoor een populatie snoeken uitsterft. Veranderingen in de populatiedichtheid kunnen worden geanalyseerd door bepaling van vier grootheden: het geboortecijfer, het sterftecijfer, de immigratie en de emigratie.

ECOSYSTEMEN

Het ecosysteem is een van de hoogste (organisatie)niveaus om de biologie te bestuderen. Een ecosysteem is een begrensd gebied waarin wisselwerking plaatsvindt tussen organismen en de abiotische omgeving. Voorbeelden van ecosystemen zijn bossen, graslanden en koraalriffen.

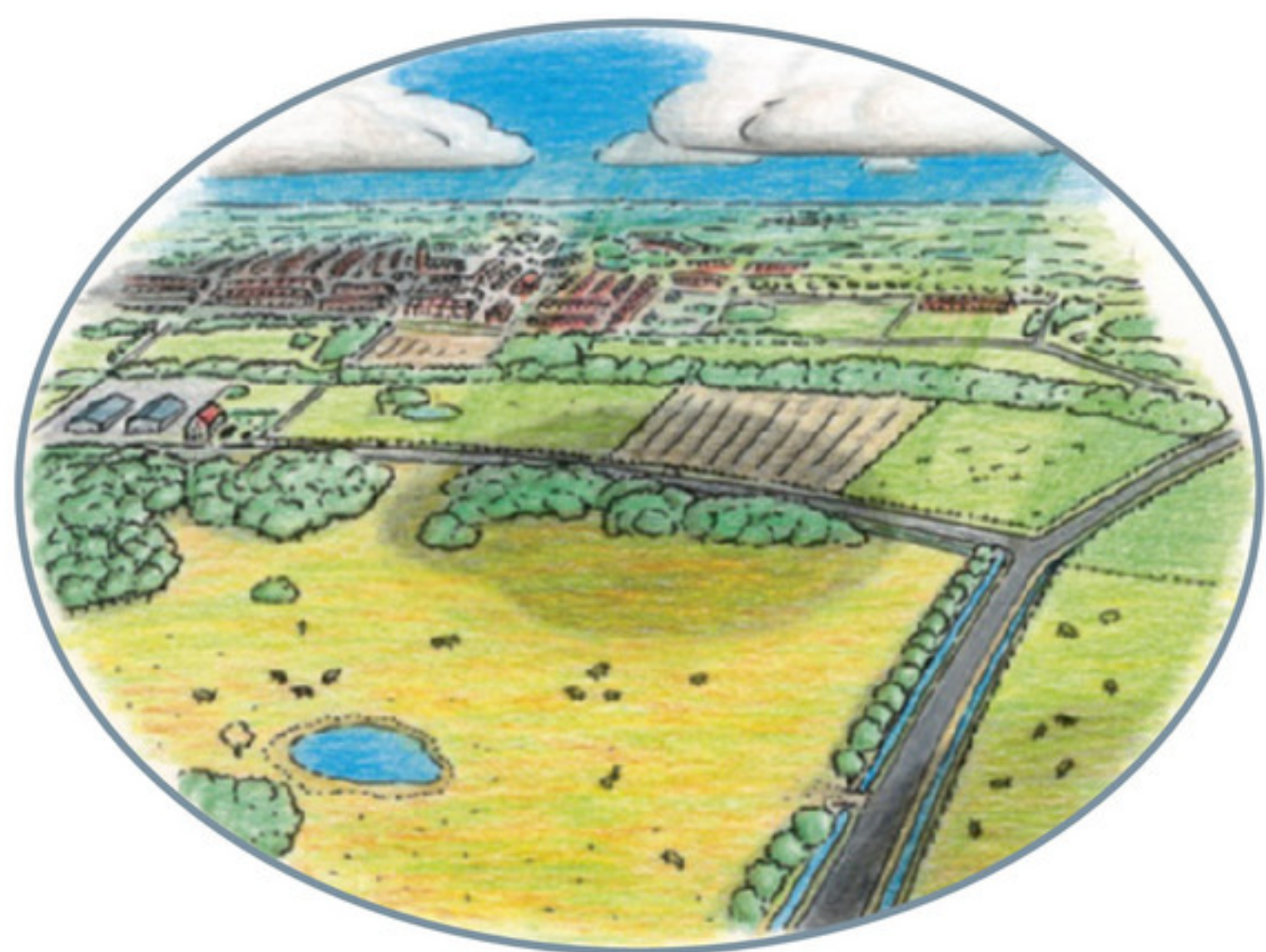
Ecosystemen bestaan uit verschillende soorten en populaties. Populaties concurreren met elkaar om de beschikbare hoeveelheid voedsel, ruimte of licht. Tussen verschillende soorten vindt interactie plaats. Als individuen van verschillende soorten langdurig samenleven, heet dit symbiose.

Er zijn drie vormen van symbiose: mutualisme, commensalisme en parasitisme. Bij mutualisme hebben beide organismen voordeel. Bij commensalisme heeft één organisme voordeel en het andere geen voor- of nadeel. Bij parasitisme heeft het ene organisme voordeel en het andere nadeel.

▼ **Afb. 5** Een populatie: grutto's.



▼ **Afb. 6** Een ecosysteem: weidegebied.



In een ecosysteem lopen meerdere voedselketens door elkaar. Dit wordt een voedselweb of voedselnet genoemd. Voedselketens beginnen met autotrofe organismen (voornamelijk planten), die producenten worden genoemd. De volgende schakels zijn heterotrofe organismen (dieren), die consumenten worden genoemd. Tot slot breken reducenten (bacteriën, schimmels) dode resten af tot anorganische stoffen die door producenten weer worden opgenomen.

Een piramide van biomassa geeft weer wat er aan stoffen en energie in elk trofisch niveau in een ecosysteem binnenkomt en wat eruit gaat. Een deel van de biomassa (chemische energie) wordt doorgegeven aan het volgende trofische niveau. Een ander deel van de biomassa wordt verbruikt bij verbranding, verdwijnt via de ontlasting of gaat verloren doordat het afsterft en vergaat. Hoe hoger het trofische niveau, hoe minder energie dit niveau bevat.

Ecosystemen veranderen voortdurend. Successie is de verandering van de soortensamenstelling van een levensgemeenschap, waardoor de levensgemeenschap geleidelijk overgaat in een andere. Successie begint met een pioniersecosysteem en eindigt met een climaxecosysteem. Een voorbeeld is een plas die dichtgroeit met waterplanten en ten slotte overgaat in een moerasbos. Tijdens successie is in het ecosysteem de productie van nieuwe weefsels groter dan de afbraak van weefsels. Hierdoor neemt de biomassa toe. Tijdens successie neemt de diversiteit aan soorten in een ecosysteem toe en begint de vegetatie gelaagdheid te vertonen. In het climaxecosysteem bereikt de biodiversiteit zijn maximale waarde. Voorbeelden zijn het tropisch regenwoud en het koraalrif.

MENS EN MILIEU

Ook mensen leven intensief samen met de natuur. Vanuit menselijk perspectief heet deze leefomgeving 'het milieu'. Omdat er zoveel mensen op aarde wonen, beïnvloeden we het milieu waarin we leven.

De mens gebruikt het milieu onder andere voor de productie van voedsel. Voor de verbouw van gewassen zijn water, koolstofdioxide en meststoffen nodig. In meststoffen zitten nitraat (stikstofbron), fosfaat (fosforbron) en zwavel, die de plant nodig heeft voor de aanmaak van onder andere eiwitten en genetisch materiaal. Doordat een land- of tuinbouwer bij elke oogst planten met daarin de mineralen van het land haalt, moet hij het land steeds opnieuw aanvullen door bemesting met mineralen.

Overbemesting kan leiden tot een toename van mineralen in het oppervlaktewater (eutrofiëring of vermesting). Door eutrofiëring kan waterbloei ontstaan. Bij dit verschijnsel breiden sommige soorten waterplanten (kroos, algen) zich enorm uit door toedoen van nitraat en fosfaat. Deze waterbloei zorgt voor minder licht in het water, waardoor veel waterplanten die onder water leven afsterven. Bij de afbraak van dit materiaal door reducenten wordt veel zuurstof verbruikt, waardoor in het water zuurstofgebrek ontstaat en veel dieren sterven. Dit leidt tot nog meer organisch afval en een sloot of meer waarin vrijwel geen leven meer voorkomt.

Grote stukken land met gewassen in monoculturen zijn gevoelig voor plagen. Plagen worden bestreden met chemische bestrijdingsmiddelen of biologische bestrijdingsmiddelen. Het voordeel van een chemisch bestrijdingsmiddel is dat het snel inzetbaar is en meteen resultaat levert. Nadelen zijn dat het niet-soortspecifiek is en leidt tot accumulatie en persistentie. Biologische bestrijdingsmiddelen leiden niet tot accumulatie of persistentie en zijn soortspecifiek. Een nadeel is dat het een tijd duurt voordat ze efficiënt de plaag stoppen.

▼ **Afb. 7** Biosfeer: systeem Aarde.



DE ATMOSFEER

Naast de bodem en het water vormt de atmosfeer een onderdeel van het abiotische milieu. In de atmosfeer komen verschillende gassen voor die een rol spelen in het leven op aarde.

Van nature bevat de atmosfeer broeikasgassen, zoals koolstofdioxide, waterdamp en methaan. Hierdoor is de gemiddelde temperatuur op aarde geen -18°C , maar $+15^{\circ}\text{C}$. Dankzij broeikasgassen is er veel meer leven op aarde mogelijk.

Door menselijke activiteiten komen er steeds meer broeikasgassen in de atmosfeer terecht. Dit leidt mede tot het versterkte broeikaseffect, waarbij de atmosfeer meer warmte vasthoudt en de temperatuur op aarde stijgt. Door de temperatuurstijging zal een deel van het poolijs smelten en de zeespiegel stijgen. Ook zal het klimaat wisselvalliger worden. Dit kan van invloed zijn op de voedselvoorziening.

KRINGLOPEN

In organismen komen de elementen waterstof, zuurstof, koolstof en stikstof het meest voor. Als een organisme sterft, gaan deze elementen niet verloren, maar ondergaan een kringloop. Op die manier vormt de aarde één groot dynamisch systeem, waarin alle elementen onderling in interactie zijn.

Kringlopen beginnen steeds met de opname van mineralen uit de bodem en de binding daarvan aan een organisch molecuul.

DE KOOLSTOFKRINGLOOP

Koolstof komt in de lucht voor als koolstofdioxide. Via fotosynthese vormen planten hieruit glucose. Bij deze koolstofassimilatie wordt koolstof als anorganische stof opgenomen en ingebouwd in een organische stof. Koolstof kan door planten ook worden omgezet in andere organische stoffen, waaronder koolhydraten, vetten en eiwitten. Als planten worden gegeten, komen de koolstofatomen in heterotrofe organismen terecht. Deze koolstof kan vervolgens worden omgezet in andere organische stoffen, of via dissimilatie worden afgegeven aan de lucht als koolstofdioxide. Een deel verlaat het lichaam als uitwerpselen.

Als organismen doodgaan of lichaamsdelen (zoals haren) verliezen, worden de organische stoffen in dit afval door afvaleters, schimmels en heterotrofe bacteriën afgebroken. Hierbij komt koolstofdioxide vrij, dat wordt afgegeven aan de lucht. Autotrofe organismen kunnen dit koolstofdioxide dan weer opnemen.

DE STIKSTOFKRINGLOOP

Stikstof komt in organismen vooral voor in eiwitten en DNA. In de lucht komt gasvormig stikstof voor, in de bodem zit stikstof in ammonium-, nitriet- en nitraationen.

Planten nemen stikstof op uit de bodem in de vorm van nitraationen.

Vlinderbloemige planten hebben in hun wortels knolletjesbacteriën, die stikstof uit de lucht kunnen binden. Bij de stikstofassimilatie worden onder andere eiwitten gevormd. De anorganische stof stikstof wordt dan omgezet in een organische stof. Als een plant door een dier wordt gegeten, worden de plantaardige eiwitten afgebroken tot aminozuren en daarna omgezet in dierlijke eiwitten. Een ander deel wordt in het dier gedissimileerd, waarbij ammoniak vrijkomt. Bij mensen wordt ammoniak omgezet in ureum en uitgescheiden met urine.

Rottingsbacteriën zetten de afbraakproducten van eiwitten om in ammoniak. Ammoniak reageert met bodemwater tot ammonium. Ammoniumionen worden door nitriet- en nitraatbacteriën achtereenvolgens omgezet in nitriet- en nitraationen. Nitraationen worden door planten opgenomen.

EVOLUTIE

De eerste vier miljard jaar van het bestaan van de planeet Aarde waren er geen zichtbare levensvormen. Er leefden toen alleen eencelligen: eerst prokaryoten, waaruit zich door endosymbiose eukaryoten ontwikkelden. Eukaryote cellen ontwikkelden zich tot meercelligen. Na de vorming van planten nam het zuurstofgehalte in het water toe. Later ontwikkelden zich dieren, die weer later het land opgingen.

De drijvende kracht achter de evolutie vormt het DNA. Door mutaties in het DNA ontstaat er variatie in genotypen van organismen. Het best aangepaste organisme overleeft en kan zijn genen via de voortplanting doorgeven aan de volgende generatie. Zo weet de natuur zich voortdurend aan te passen aan de veranderende omstandigheden op onze levende planeet.

A

aangeboren afweer..... 179
 ABo-systeem..... 202
 absorptie..... 98
 acceptor..... 199
 acidose..... 150
 actief transport..... 35
 actieve immunisatie..... 195
 acute afstoting..... 199
 ademcentrum..... 133
 ademvolume..... 131
 aderkleppen..... 80
 aders (venen)..... 79
 ADH (antidiuretisch hormoon)..... 149
 afstotingsreactie..... 199
 afweer, aangeboren..... 179
 afweer, chemische..... 176
 afweer, mechanische..... 176
 afweer, verworven..... 179
 aldosteron..... 148
 alkalose..... 150
 alveolair vocht..... 118
 alveolaire lucht..... 118
 alveolie (longblaasjes)..... 117
 alveolesklier (pancreas)..... 21
 alvelessap..... 21
 amylase..... 26
 antibioticum..... 181
 antidiuretisch hormoon (ADH)..... 149
 antigeen..... 182
 antigeen-antistofcomplex..... 186
 antigeen-presenterende cel (APC) .. 182
 antiresus..... 204
 antiserum..... 195
 antistoffen..... 186
 anus..... 37
 aorta..... 72
 APC (antigeen-presenterende cel) .. 182
 appendix..... 36
 arteriën (slagaders)..... 79
 arteriolen..... 79
 atherosclerose..... 84
 atrium (boezem)..... 64
 AV-knoop (atriumventrikelknoop) 74

B

baroreceptoren..... 87
 B-geheugencellen..... 186
 bijholten..... 117
 bilirubine..... 137
 blindedarm..... 36
 bloedarmoede..... 92
 bloeddruk..... 84

bloedplaatjes (trombocyten)..... 92
 bloedplasma..... 90
 bloedserum..... 92
 bloedsomloop..... 64
 bloedsomloop, dubbele..... 66
 bloedsomloop, enkelvoudige..... 64
 bloedsomloop, grote..... 66
 bloedsomloop, kleine..... 66
 bloedstolling..... 92
 bloedtransfusie..... 202
 B-lymfocyten..... 183
 boezem (atrium)..... 64
 Bohr-effect..... 122
 borstademhaling (ribademhaling) .. 128
 borstbuis..... 99
 borstvlies..... 128
 bouwstof..... 10
 bovendruk (systolische druk)..... 84
 B-plasmacellen..... 186
 brandstoffen..... 10
 bronchiën..... 117
 bronchiolen..... 117
 buffers van hemoglobine..... 150
 buikademhaling
 (middenrifademhaling)..... 128
 bundel van His..... 74

C

capillairen (haarvaten)..... 79
 CD4..... 185
 CD8..... 186
 cellulaire respons..... 186
 cellulase..... 37
 chemische afweer..... 176
 chemische vertering..... 19
 cholecystokinine..... 28
 cholesterol..... 12
 colloïd-osmotische druk..... 97
 cytokinen..... 181
 cytotoxische T-cellen (Tc-cellen) 185

D

darmepitheel..... 34
 darmflora..... 37
 darmperistaltiek..... 19
 darmpluizen..... 34
 darmvlokken (villi)..... 34
 dendritische cellen..... 181
 desaminering..... 139
 detoxificatie..... 140
 diastole..... 73
 diastolische druk (onderdruk)..... 84
 dikke darm..... 36

dipeptiden..... 28
 DNA-ase..... 28
 dode ruimte..... 131
 donor..... 199
 Donorregister..... 199
 donorverklaring..... 199
 dubbele bloedsomloop..... 66
 ductus arteriosis..... 68
 ductus Botalli..... 68
 dunne darm..... 34

E

ecg (elektrocardiogram)..... 75
 eenkamerhart..... 67
 eiwitten..... 10
 elektrocardiogram (ecg)..... 75
 emulgeren..... 21
 endeldarm..... 37
 enkelvoudige bloedsomloop..... 64
 enterokinase..... 28
 erythrocyten (rode bloedcellen)..... 91
 essentiële aminozuren..... 10
 essentiële vetzuren..... 11
 expiratoir reservevolume..... 131
 extracellulaire vertering..... 23

F

fagocyten..... 179
 fagocytose..... 23
 feces (ontlasting)..... 37
 ferritine..... 137
 fibrine..... 92
 fibrinogeen..... 92
 filtratie..... 97
 filtratiedruk..... 97

G

gal..... 21
 galblaas..... 21
 galbuis..... 137
 galgang..... 137
 galkleurstoffen..... 21
 galzouten..... 21
 gastrine..... 26
 gaswisseling..... 116
 gebreksziekten..... 15
 glomerulus..... 145
 granulocyten..... 180
 grote bloedsomloop..... 66

H

haarvaten (capillairen)..... 79
 haarzakjes..... 154

halvemaanvormige kleppen 72
 hartinfarct 85
 hartkleppen 72
 hartpauze 73
 hartritme 75
 harttruis 73
 hartslagfrequentie 75
 harttonen 73
 harttussenwand 72
 hemoglobine 92
 hemolyse 202
 HLA 199
 HLA-matching 199
 hoornlaag 153
 huid 176
 huig 20
 humorale respons 187
 hypertensie 84

I

Ig (immunoglobulinen) 186
 immunisatie 192
 immunisatie, actieve 195
 immuniteit, kunstmatige 192
 immuniteit, natuurlijke 192
 immunisatie, passieve 195
 immunoglobulinen (Ig) 186
 immuun 192
 incubatietijd 192
 infectie 175
 inspiratoir reservevolume 131
 interpleurale ruimte 128
 intracellulaire vertering 23

K

kamer (ventrikel) 64
 kapsel van Bowman 145
 kiemlaag 154
 kieuwen 125
 kleine bloedsomloop 66
 koolhydraten 11
 koolzuuranhydrase 123
 koppelingseiwitten 185
 kransaders 71
 kransslagaders 71
 kringspieren 19
 kunstmatige immuniteit 192

L

lactase 28
 lederhuid 154
 lengtespieren 19
 leukocyten (witte bloedcellen) 93

lever 21
 levercirrose 140
 leverlobjes 137
 lichaampje van Malpighi 145
 lichaamseigen 174
 lichaamsvreemd 174
 linkerboezem 72
 linkerharthelft 65
 linkerkamer 72
 lipase 28
 lipoproteïnen 36
 lis van Henle 145
 longblaasjes (alveoli) 117
 longcapaciteit (longvolume) 131
 longslagader 72
 longventilatie 128
 longvlies 128
 longvolume (longcapaciteit) 131
 luchtpijp 117
 lymfe 99
 lymfeklieren (lymfeknopen) 99
 lymfesysteem 99
 lymfevaten 99
 lymfocyten 179
 lymfoïde organen 179

M

maag 20
 maagdarmholte 23
 maagportier 20
 maagsap 20
 macrofagen 181
 maltase 28
 maltose 26
 mechanische afweer 176
 mechanische vertering 19
 mediators 181
 melanine 176
 melanocyten 176
 MHC 184
 MHC-II-receptoren 184
 MHC-I-receptoren 184
 microvilli 34
 middenrifademhaling
 (buikademhaling) 128
 mineralen 15
 monocyten 181

N

natriumwaterstofcarbonaat 150
 natuurlijke immuniteit 192
 nefron 144
 neusslijmvlies 116

nierbekken 144
 nierbuisje 144
 nieren 144
 nierkanaaltjes 144
 nierkapsel 145
 niermerg 144
 nierschors 144

O

oedeem 99
 onderdruk (diastolische druk) 84
 ontlasting (feces) 37
 onverzadigd 11
 open circulatiesysteem 64
 opperhuid 153
 osmoreceptoren 149
 ovale venster 68
 oxyhemoglobine 120

P

pancreas (alvleesklier) 21
 partiële zuurstofdruk (pO₂) 118
 passieve immunisatie 195
 pathogenen (ziekteverwekkers) 174
 pepsine 27
 pepsinogeen 27
 peptidasen 28
 plasma-eiwitten 90
 pO₂ (partiële zuurstofdruk) 118
 poortader 35
 primaire reactie 192
 pylorus 20

R

receptoreiwit 183
 rechterboezem 72
 rechterharthelft 65
 rechterkamer 72
 rechterlymfestam 99
 rekreceptoren 134
 resorptie 34
 restvolume 131
 resusantigeen 204
 resusfactor 204
 resuskindje 204
 ribademhaling (borstademhaling) 128
 RNA-ase 28
 rode beenmerg 91, 179
 rode bloedcellen (erythrocyten) 91

S

sacharase 28
 secretine 27

secundaire reactie 192
 sinusknop 74
 slagaders (arteriën) 79
 slagvolume 76
 slijmvliezen 176
 slokdarm 20
 spoorelementen 15
 stembanden 117
 stigmata 124
 stollingsfactoren 92
 strotklepje 20
 strottenhoofd 20
 systole 73
 systolische druk (bovendruk) 84

T

talg 154
 talgklieren 154
 Tc-cellen (cytotoxische T-cellen) 185
 tegenstroomprincipe 125
 terugresorptie 147
 T-geheugencellen 186
 T-helpercellen (Th-cellen) 185
 thermoregulatie 154
 T-lymfocyten 183
 tracheeën 124
 transaminering 139
 transplantatie 199
 triglyceriden 11

trilhaarepitheel 116
 triptiden 28
 trombine 92
 trombocyten (bloedplaatjes) 92
 trombose 85
 trypsine 28
 trypsinogeen 28
 twaalfvingerige darm 21

U

ultrafiltratie 145
 ureum 139
 urine 144
 urineblaas 144
 urinebuis 144
 urineleiders 144

V

vaatgeruis 85
 vaccin 192
 vaccinatie 192
 vasoconstrictie 79
 vasodilatatie 79
 venen (aders) 79
 ventrikel (kamer) 64
 venulen 79
 verteringsenzymen 26
 verteringsklieren 19
 verteringsproducten 19

verteringssappen 19
 verworven afweer 179
 verzadigd 11
 verzamelbuisjes 144
 vetten 11
 villi (darmvlokken) 34
 villi, micro- 34
 virussen 175
 vitale capaciteit 131
 vitamine-B-complex 15
 vitaminen 15
 voedingsmiddelen 10
 voedingsstoffen 10
 voedingsvacuolen 23
 voedingsvezels 11
 voorurine 145

W

waterhuishouding 149
 waterstofcarbonationen 123
 weefselvloeistof 97
 wet van Fick 119
 witte bloedcellen (leukocyten) 93

Z

ziekteverwekkers (pathogenen) 174
 zweet 155
 zweetklieren 155

AUTEURS

Deze geheel vernieuwde zesde editie bouwt voort op de vierde en vijfde editie van BVJ geschreven door: Arteunis Bos, Onno Kalverda, Ruud Passier, Gerard Smits, Ben Waas, René Westra

REDACTIE

Ivonne Hermens, Grada Hooijer

FOTO'S EN ILLUSTRATIES

123RF: thema 2: ontdekken 1; thema 3: 59, samenhang 2; thema 4: 30, 35, practica 1; ANP Photo, Rijswijk: thema 1: ontdekken lb; Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk: thema 1: 47.1, 47.2; thema 2: 12.1, 12.2, 22; thema 3: 2.3; thema 4: 2.1, 2.2, 2.4, 5, 10.1, 10.2, 19, 25, 40.1, 40.2; Jorge Bispo Fotografie, Rio de Janeiro: thema 1: 15; Dreamstime: thema 2: 21, practica 2; Erik Eshuis Infographics, Groningen: thema 1: 4, 14, 23, 25, 27, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 52, 56, samenhang 2; thema 2: 1.1, 1.2, 5, 14, 15, 19, 26, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 43, 49, 50; thema 3: 7, 9, 12, 13, 19, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 33, 40, 48, 51, 52, 53; thema 4: 7, 12, 13, 23, 24, 26, 28, 32, 33, 37, 42, samenhang 1, samenvatting ro; Fresh Images / Reporters, Haarlem: thema 3: 34; Getty Images: thema 1: 26; thema 2: 48; Imageselect, Wassenaar: thema 1: 12; thema 2: ontdekken lb, 44; thema 3: 17; thema 4: 2.3; iStockphoto: thema 4: ontdekken lb; Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: thema 1: 17, 20, 29, 40, 44; thema 2: 16, 17, 23; thema 4: 1, 3, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 20; Medistudents - www.medistudents.com: thema 2: 30; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: thema 1: ontdekken 1, 1, 3, 5 mo, 8, 10, 11, 22; thema 3: practica 1; Nationale Beeldbank, Rotterdam: thema 3: ontdekken lb, ontdekken 2; Nierstichting, Bussum: thema 3: 54; NOAA Fisheries West Coast: thema 2: 9; Hans Rawee: thema 4: 27; Rijksoverheid: thema 4: 31, 36; Theo de Rouw: thema 2: 54; Shutterstock: thema 1: 2, 5 lb, rb; thema 2: 41, 46, 53; thema 3: 21, samenhang 1; thema 4: 29, 44; thema 5: 7; Stichting Vrienden van Loesje, Arnhem: thema 2: samenhang 1; Bas Teunis Zoölogical Illustrations, Sinderen: thema 5: 3, 4, 5, 6; Uit examen: thema 1: examentrainer 1, examentrainer 2, examentrainer 3, examentrainer 4, examentrainer 5; thema 2:

ONTWERP

Uitgeverij Malmberg

OPMAAK

Pointer grafische vormgeving, Geldrop

BEELDVERWERVING

B en U International Picture Service, Amsterdam

47, examentrainer 1, examentrainer 2, examentrainer 3; thema 3: examentrainer 1; thema 4: examentrainer 1, examentrainer 3, examentrainer 4; UMC Utrecht: thema 2: 38; Van der Lans AA, Hoeks J, Brans B, Vijgen GH, Visser MG, Vosselman MJ, Hansen J, Jorgensen JA, Wu J, Mottaghy FM, Schrauwen P & van Marken Lichtenbelt WD (2013) Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis. *The Journal of clinical investigation* 123, 3395-3403: thema 1: 51; Voedingscentrum, Den Haag: thema 1: 48; Voermans Van Bree Fotografie, Arnhem: thema 3: practica 2; Henk van de Vrande: thema 1: 28; thema 2: 10, 42; thema 3: 4.2, 16.2; thema 5: 1; Wikimedia Commons: thema 1: samenhang 1; thema 3: 42

BEELDEN OMSLAG EN THEMA-OPENINGEN

omslag: mierikswortel bloemknoppen, Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk
thema 1: ontbijt, Hollandse Hoogte, Den Haag
thema 2: rode bloedcellen, Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk
thema 3: sporter, Getty Images
thema 4: macrofagen en larve, Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk
thema 5: astronaut, Shutterstock

De uitgever heeft getracht met alle rechthebbenden op beelden en tekst in contact te treden. Mogelijk is dit niet in alle gevallen gelukt. Degene die meent op beelden en/of tekst recht te kunnen doen gelden, wordt verzocht in contact te treden met Uitgeverij Malmberg te 's-Hertogenbosch.

ISBN 978 94 020 0940 8

Zesde editie, derde oplage

MALMBERG

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van

23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

© Malmberg 's-Hertogenbosch

AUTEURS

Marianne Gommers
Arthur Jansen
André van Leijen
Ruud Passier
Hans Rawee
Theo de Rouw

EINDREDACTIE

Ilse Gmelig
Lineke Pijnappels



- Dit boek is van jou.
- Je mag in dit boek schrijven en aantekeningen maken.
- Je hebt ook toegang tot de online leeromgeving.

ISBN 978 94 020 0940 8



9 789402 009408

566063

MALMBERG